

**Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto**



## **Planeamento Colaborativo do Transporte na Cadeia de Abastecimento Florestal**

**Diogo Almeida Ferreira Pinho de Almeida**

Dissertação realizada no âmbito do  
Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores  
Major Automação

Orientador: Prof. Dr. Jorge Pinho de Sousa  
Orientador Externo: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Alexandra Marques

27 de junho de 2016



# Resumo

Os métodos de otimização do planeamento de transporte têm contribuído para reduzir os custos do transporte e para uma melhor utilização dos veículos e seus condutores. Mais recentemente, a colaboração entre os vários agentes da cadeia de abastecimento, tem sido estudada com o intuito de proporcionar ainda maiores ganhos de eficiência e, por sua vez, obter uma maior redução de custos para os intervenientes.

A presente dissertação surge com o intuito de contribuir para o estudo do planeamento colaborativo florestal, através da utilização de técnicas de investigação operacional para o planeamento tático do transporte. O planeamento do transporte, desde as áreas florestais (pontos de fornecimento) até à entrega dos recursos florestais, nas respetivas fábricas (pontos de procura), tem como objetivo maximizar os lucros da cadeia de abastecimento, minimizando os custos da mesma, com particular foco para os custos de transporte. O propósito central desta dissertação é demonstrar como implementar um processo de planeamento colaborativo de transporte de madeira e, quais os potenciais ganhos para os vários agentes intervenientes. O principal resultado da dissertação é um modelo de programação matemática para otimizar o transporte na cadeia de abastecimento florestal, em contexto colaborativo.

A aplicação do modelo desenvolvido levou a uma respetiva análise de resultados, às várias variantes do mesmo e ao uso de distintos incentivos colaborativos, para alocar as mais-valias obtidas resultantes da colaboração aos parceiros intervenientes, da forma mais adequada. Tudo isto, com a intenção final de auxiliar os agentes participantes nas coligações, nas várias tomadas de decisões a realizar, com o intuito de tornar a cadeia de valor mais eficiente e, consequentemente, trazer maiores benefícios para todos os parceiros das colaborações.



# Abstract

Planning methods for the optimization of transportation have contributed to a decrease in transportation costs and to an enhanced use of vehicles and their operators. More recently, the collaboration between multiple agents of the supply chains has been studied with the intent of providing even greater gains in efficiency, and in turn further reduce costs for all parties.

The current essay has been created with the purpose of contributing to the study of forest collaborative planning, by applying operational research techniques to transportation tactical planning. Transportation planning, from forested areas (supply zones) to the delivery of resources at their corresponding factories (demand zones), is intended to maximize profits for the supply chain by reducing its costs, particularly transportation costs. The main goal of this essay is to demonstrate how to implement a process of timber transport collaborative planning, as well as the potential benefits for the intervening parties. The main result of this essay is a mathematical programming model to optimize collaborative transportation in forest supply chain.

The results of the application of several variants of this model were analyzed, including variation of collaboration incentives, in order to allocate the profits obtained through collaboration to the intervening partners in the most adequate fashion. All of this with the final goal of helping coalition partners in decision-making, so as to increase supply chain efficiency, and thus bring greater benefit to all collaborating partners.



# Agradecimentos

Tratando-se de um dos momentos mais especiais e marcantes do meu percurso académico, queria agradecer a todos aqueles que, de forma direta ou indireta, contribuíram para o meu sucesso ao longo destes últimos anos, aproveitando assim a oportunidade para elencar alguns de forma especial.

Em primeiro lugar, ao Professor Jorge Pinho de Sousa e à Professora Alexandra Marques, pela orientação e ajuda prestada ao longo da realização deste trabalho. Ao Pedro Rocha e ao Bruno Oliveira, pela disponibilidade, ajuda e preocupação demonstrada. Deixo o meu estimado apreço pelo tempo que, por vezes, com muito esforço pessoal, dedicaram ao meu trabalho.

Em segundo lugar, a todos os meus amigos, em especial à Raquel, pela paciência, força e todo o apoio que me deu.

Por último, dirijo um agradecimento muito especial aos meus pais e irmão, por todo o apoio, esforço e dedicação, em proporcionar todas as condições, mais do que necessárias, durante toda esta etapa da minha vida, que agora termina.

Muito obrigado a todos!

Diogo Almeida Ferreira Pinho de Almeida





*“Pleasure in the job puts perfection in the work.”*

Aristotle



# Índice

<b>Resumo .....</b>	<b>i</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>iii</b>
<b>Agradecimentos .....</b>	<b>v</b>
<b>Índice.....</b>	<b>ix</b>
<b>Lista de figuras .....</b>	<b>xi</b>
<b>Lista de tabelas .....</b>	<b>xiii</b>
<b>Abreviaturas .....</b>	<b>xv</b>
<b>Capítulo 1 .....</b>	<b>1</b>
Introdução.....	1
1.1 Contexto.....	1
1.2 Motivação .....	3
1.3 Objetivos e metodologia adotada.....	3
1.4 Estrutura da dissertação.....	4
<b>Capítulo 2 .....</b>	<b>5</b>
Estado da arte .....	5
2.1 Planeamento de transporte na cadeia de abastecimento florestal .....	5
2.1.1 Planeamento estratégico .....	7
2.1.2 Planeamento tático.....	7
2.1.3 Planeamento operacional .....	9
2.1.4 Decisões em tempo real .....	11
2.2 Colaboração entre agentes da cadeia de abastecimento florestal .....	12
2.2.1 Oportunidades de colaboração .....	14
2.2.2 Estratégia de colaboração.....	15
2.2.3 Métodos e técnicas de apoio à colaboração.....	19
2.2.4 Ferramentas computacionais .....	24
2.3 Síntese do estado da arte .....	26
<b>Capítulo 3 .....</b>	<b>27</b>
Proposta de solução .....	27
3.1 Definição do problema .....	27
3.2 Estratégia de colaboração.....	29
3.3 Modelo matemático para planeamento tático de transporte .....	31
3.3.1 Formulação matemática .....	32
3.4 Incentivos colaborativos .....	41
3.4.1 Métodos proporcionais .....	42

3.4.2 Método baseado no valor de <i>Shapley</i> .....	42
3.4.3 Métodos baseados nos lucros separáveis e não separáveis .....	43
3.5 Arquitetura do sistema .....	45
3.5.1 Sistema de apoio à decisão .....	47
<b>Capítulo 4 .....</b>	<b>49</b>
Aplicação num caso de estudo .....	49
4.1 Descrição do caso de estudo.....	49
4.2 Análise de resultados .....	54
4.2.1 Caso colaborativo base .....	54
4.2.2 Comparação do caso base com o planeamento não colaborativo .....	58
4.2.3 Caso colaborativo base excluindo a partilha de recursos florestais .....	63
4.2.4 Caso colaborativo base com balanceamento das atividades de exploração e de transporte .....	66
4.2.5 Resumo .....	71
4.3 Incentivos colaborativos na alocação do lucro, do caso base, às entidades colaborativas .....	72
4.3.1 Métodos proporcionais .....	72
4.3.2 Método baseado no valor de <i>Shapley</i> .....	73
4.3.3 Métodos baseados nos lucros separáveis e não separáveis .....	74
4.3.4 Resumo .....	77
4.4 Avaliação global dos resultados .....	78
<b>Capítulo 5 .....</b>	<b>81</b>
Conclusões e desenvolvimentos futuros .....	81
5.1 Conclusões .....	81
5.2 Trabalho futuro .....	82
<b>Anexo A.....</b>	<b>83</b>
Resultados obtidos no <i>excel</i> .....	83
<b>Anexo B.....</b>	<b>85</b>
Análise de resultados .....	85
<b>Referências .....</b>	<b>87</b>

# Lista de figuras

Figura 1.1 - Esquema representativo do caso piloto 3 (Fonte: <a href="http://www.focusnet.eu">www.focusnet.eu</a> ) .....	2
Figura 2.1 - Ilustração da operação de transporte desde as áreas florestais até à indústria ([2]) .....	6
Figura 2.2 - Ilustração do transporte tradicional, sem <i>backhauling</i> (parte superior) e transporte com <i>backhauling</i> (parte inferior) ([1]).....	11
Figura 2.3 - Principais fases e subfases para uma CA colaborativa, proposto por [6] .....	14
Figura 2.4 - Níveis de Colaboração .....	18
Figura 2.5 - <i>Screenshot</i> de uma das interfaces do VTM, onde é possível consultar informação sobre os vários pedidos de transporte ([3]).....	26
Figura 3.1 - Estrutura organizacional centralizada .....	29
Figura 3.2 - Fluxograma do sistema .....	46
Figura 3.3 - <i>Spreadsheet</i> exemplo, com as receitas e custos do plano obtido .....	46
Figura 3.4 - Casos de uso de um sistema de apoio à decisão (DSS) para planeamento colaborativo de transportes .....	48
Figura 4.1 - Mapa da instância.....	50
Figura 4.2 - Representação dos arcos de transporte válidos .....	51
Figura 4.3 - Quantidade de recursos florestais explorados pela entidade A, em cada área florestal .....	55
Figura 4.4 - Quantidade de recursos florestais recebidos na fábrica 0.....	56
Figura 4.5 - Quantidade de recursos florestais recebidos na fábrica 1.....	56
Figura 4.6 - Quantidade de recursos florestais recebidos na fábrica 2.....	56
Figura 4.7 - Quantidade de recursos florestais recebidos e enviados pelo mercado .....	57
Figura 4.8 - Fluxos de recursos florestais entre as entidades.....	57
Figura 4.9 - Quilómetros totais realizados por cada entidade .....	58
Figura 4.10 - Quilómetros realizados por cada entidade, em cada período de tempo .....	58

Figura 4.11 - Comparação da quantidade de recursos florestais exploradas, por cada entidade, com e sem colaboração .....	59
Figura 4.12 - Comparação da quantidade de recursos florestais comprados ao mercado, com e sem colaboração .....	60
Figura 4.13 - Comparação dos quilómetros realizados, por cada entidade, com e sem colaboração .....	61
Figura 4.14 - Comparação dos vários tipos de custos das operações de transporte, com e sem colaboração .....	61
Figura 4.15 - Comparação dos quilómetros totais realizados, nos vários contextos colaborativos .....	65
Figura 4.16 - Comparação dos quilómetros realizados, por cada entidade, nos vários contextos colaborativos .....	65
Figura 4.17 -Quantidade total de recursos florestais explorados, por cada entidade, com balanceamento .....	67
Figura 4.18 - Comparação da quantidade de recursos explorados, por cada entidade, com e sem balanceamento.....	68
Figura 4.19 - Comparação de quilómetros realizados, por cada entidade, com e sem balanceamento .....	69
Figura 4.20 - Quilómetros realizados por cada entidade, em cada período de tempo, com balanceamento .....	69
Figura A.1 - <i>Spreadsheet</i> resultante do caso de estudo base, com o plano das atividades de exploração na área florestal 0.....	83
Figura A.2 - Spreadsheet resultante do caso de estudo base, com a quantidade de recursos florestais totais recebidos na fábrica 0 .....	83
Figura A.3 - <i>Spreadsheet</i> resultante do caso de estudo base, com as viagens de transporte para a fábrica 0 .....	84
Figura B.1 - Quantidade de recursos florestais explorados pela entidade A em cada área florestal, em ambiente colaborativo sem partilha dos mesmos entre as entidades .....	85
Figura B.2 - Quantidade de recursos florestais recebidos na fábrica 0, em ambiente colaborativo, sem partilha dos mesmos entre as entidades .....	85
Figura B.3 - Quantidade de recursos florestais recebidos na fábrica 1, em ambiente colaborativo, sem partilha dos mesmos entre as entidades .....	86
Figura B.4 - Quantidade de recursos florestais recebidos na fábrica 2, em ambiente colaborativo, sem partilha dos mesmos entre as entidades .....	86
Figura B.5 - Quantidade de recursos florestais recebidos e enviados pelo mercado, em ambiente colaborativo, sem partilha dos mesmos entre as entidades .....	86

# Lista de tabelas

Tabela 3.1 - Características colaborativas	30
Tabela 4.1 - Informação sobre os pontos geográficos do mapa	50
Tabela 4.2 - Distâncias	51
Tabela 4.3 - Informação sobre as entidades	51
Tabela 4.4 - Informação sobre as áreas florestais	52
Tabela 4.5 - Planeamento nas fábricas	53
Tabela 4.6 - Informação sobre as fábricas	53
Tabela 4.7 - Informação sobre o mercado	53
Tabela 4.8 - Decisões de exploração	55
Tabela 4.9 - Recursos florestais partilhados pelos parceiros da coligação	57
Tabela 4.10 - Comparação dos vários tipos de custos, com e sem colaboração	59
Tabela 4.11 - Comparação dos vários tipos de receitas, com e sem colaboração	62
Tabela 4.12 - Comparação do lucro agregado, com e sem colaboração	62
Tabela 4.13 - Comparação dos diversos tipos de custos, no contexto não colaborativo e colaborativo sem partilha de recursos florestais	64
Tabela 4.14 - Comparação de lucro, no contexto não colaborativo e colaborativo sem partilha de recursos florestais	66
Tabela 4.15 - Decisões de exploração, com balanceamento	67
Tabela 4.16 - Comparação dos vários tipos de custos, sem colaboração e com colaboração balanceada	69
Tabela 4.17 - Comparação de receitas, sem colaboração e com colaboração balanceada	70
Tabela 4.18 - Comparação do lucro agregado, sem colaboração e com colaboração balanceada	71
Tabela 4.19 - Resumo dos ganhos colaborativos, nos diferentes contextos comparativamente com a conjuntura não colaborativa	71

Tabela 4.20 - Ganhos colaborativos obtidos com a aplicação do método " <i>egalitarian</i> "	72
Tabela 4.21 - Resultados obtidos com a aplicação do método baseado nos lucros individuais	73
Tabela 4.22 - Ganhos colaborativos obtidos com a aplicação do método baseado nos lucros individuais	73
Tabela 4.23 - Lucro obtido nas várias subcoligações	73
Tabela 4.24 - Ganhos colaborativos obtidos com a aplicação do método baseado valor de <i>Shapley</i>	74
Tabela 4.25 - Lucro separável e não separável	74
Tabela 4.26 - Lucro final alocado a cada entidade com base no método ECM	75
Tabela 4.27 - Ganhos colaborativos obtidos com base no método ECM	75
Tabela 4.28 - Lucro final alocado a cada entidade com base no método ACAM	75
Tabela 4.29 - Ganhos colaborativos obtidos com base no método ACAM	76
Tabela 4.30 - Lucro não separável obtido nas várias subcoligações	76
Tabela 4.31 - Lucro final alocado a cada entidade com base no método CGM	76
Tabela 4.32 - Ganhos colaborativos obtidos com base no método CGM	77
Tabela 4.33 - Comparação dos ganhos colaborativos obtidos com os vários métodos	77
Tabela 4.34 - Variáveis de decisão do modelo no caso de estudo base	78
Tabela 4.35 - Restrições do modelo no caso de estudo base	79
Tabela 4.36 - Número de elementos dos conjuntos de cada instância	79
Tabela 4.37 - Variáveis de decisão do modelo, em cada instância	80



# Abreviaturas

## Lista de abreviaturas

ACAM	<i>Alternative Cost Avoided Method</i>
CA	Cadeia de Abastecimento
CAF	Cadeia de Abastecimento Florestal
CGM	<i>Cost Gap Method</i>
DSS	<i>Decision Support System</i>
ECM	<i>Equal Charge Method</i>
FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
INESC	Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores do Porto
IO	Investigação Operacional
I&D	Investigação e Desenvolvimento
MIP	Mixed Integer Programming
PME	Pequenas e Médias Empresas
VTM	<i>Virtual Transportation Manager</i>



# Capítulo 1

## Introdução

No presente capítulo é feito o enquadramento do tema desta dissertação de mestrado e, são detalhadas as motivações e os objetivos do trabalho desenvolvido. Por fim, é explicitada a estrutura do documento.

### 1.1 Contexto

O trabalho proposto para dissertação, sobre o tema “Planeamento colaborativo do transporte nas cadeias de abastecimento florestais”, realizado em ambiente académico, teve como instituto de acolhimento, o Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores, Tecnologia e Ciência, do Porto (INESC TEC).

Este tema de dissertação enquadra-se no projeto Europeu FOCUS: *Advances in Forestry Control and Automation Systems in Europe* ([www.focusnet.eu](http://www.focusnet.eu)), coordenado pelo INESC TEC e, que se destina a desenvolver uma plataforma inovadora que possibilite, aos agentes intervenientes nas cadeias florestais, planejar, controlar e monitorizar de uma forma integrada as operações floresta-fábrica, em tempo real. Este projeto envolve vários parceiros de seis nacionalidades diferentes (Portugal, Finlândia, Suíça, Alemanha, Áustria e Bélgica), entre centros I&D, PME e outras instituições. Estes parceiros trazem diferentes *inputs* para o projeto e abrangem os diferentes estádios da cadeia de abastecimento florestal (CAF), sendo assim a sua participação essencial e necessária.

O projeto FOCUS é ainda responsável pela elaboração e desenvolvimento de casos piloto que têm como principal objetivo testar e configurar a plataforma FOCUS num subsistema específico. Cada um dos casos piloto vai utilizar a mesma plataforma FOCUS genérica para configurar o sistema de controlo adequado para o caso em questão, com o intuito final de obter uma plataforma com um sistema amplo de controlo, que consegue fornecer soluções para diferentes partes específicas da cadeia de valor.

Existem quatro distintos casos piloto em desenvolvimento, o caso 1 tem como tema “Controlo das decisões de ação na gestão florestal”, que tem como foco principal um sistema

de controlo para o fornecimento de madeira, que disponibiliza informação sobre a quantidade, a localização e o tempo em que os recursos florestais vão estar disponíveis para exploração. O caso 2, “Controlo da recolha e transporte da biomassa para os pontos de conversão de energia”, tem como principal finalidade acompanhar em tempo real a cadeia de abastecimento da biomassa e apoiar o planeamento ótimo da recolha e transporte para os locais de conversão de energia. O caso de estudo 3, com o tema “Monitorização e controlo automático dos processos de produção no setor florestal”, tem como intuito monitorizar e controlar os vários processos e operações da cadeia florestal, em particular os processos de abate de árvores e recarga até à rede viária e posterior transporte da rolaria até às unidades de transformação. Por fim, o projeto FOCUS está também a desenvolver o caso piloto 4 tendo como foco de estudo “Automatização dos processos de pré-transformação da cortiça”, com o propósito de otimizar os processos de gestão da matéria-prima - cortiça e produção de rolhas de cortiça natural. Este caso irá ainda demonstrar a aplicação de princípios “*lean*”, para obtenção de melhorias, particularmente, nos processos de pré-tratamento da cortiça.

O projeto de dissertação proposto enquadra-se no tema do caso piloto 3 (Figura 1.1) e, tem como finalidade demonstrar como implementar um processo de planeamento colaborativo do transporte de madeira, e quais os potenciais ganhos para os vários agentes intervenientes. Para isso, é necessário desenvolver modelos matemáticos, a serem incluídos numa das ferramentas tecnológicas do projeto FOCUS, com o intuito de apoiar a tomada de decisão no planeamento colaborativo dos transportes de madeira e receção da madeira na fábrica.

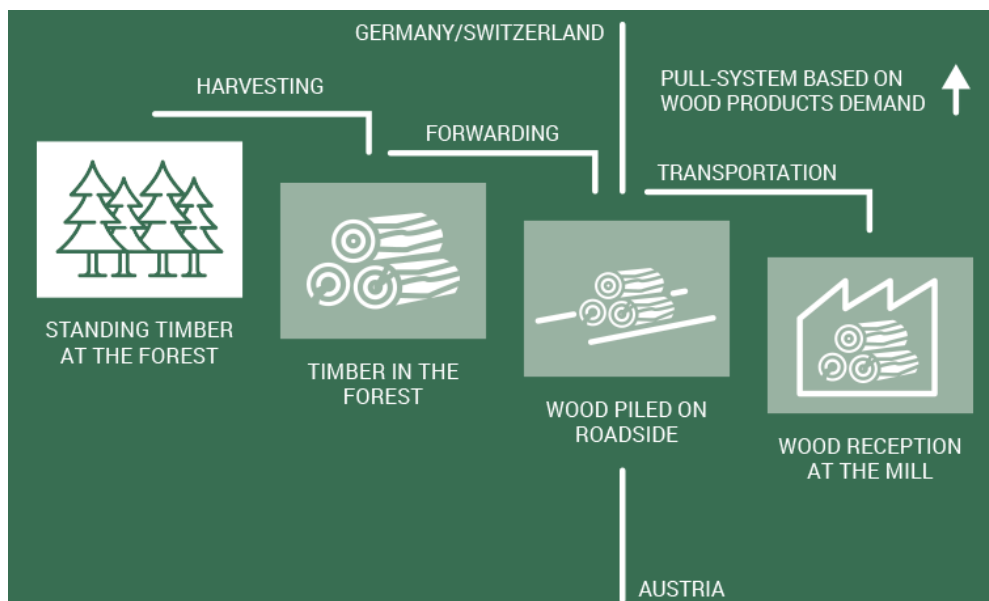


Figura 1.1 - Esquema representativo do caso piloto 3 (Fonte: [www.focusnet.eu](http://www.focusnet.eu))

Neste caso concreto, a área da investigação operacional irá desempenhar um papel importante, no que diz respeito ao uso de modelos matemáticos e de algoritmos, destinados a apoiar a decisão no planeamento colaborativo dos transportes, ao longo da CAF.

O tema proposto foca-se na colaboração entre as várias entidades da CAF, particularmente nas operações de transporte. Tendo como intuito último tornar a cadeia de valor mais eficiente e, consequentemente, trazer mais-valias aos parceiros das colaborações.

## 1.2 Motivação

Vários estudos demonstram que o planeamento do transporte de madeira pode ser melhorado, estando este, consequentemente, relacionado com uma melhoria na tomada de decisão daquilo que deve ser transportado, para onde e quando. Estas melhorias estão essencialmente relacionadas com a redução de custos operacionais e têm sido estudadas com o intuito de tornar as operações ainda mais eficientes, através do desenvolvimento de um planeamento colaborativo de transporte, entre os vários agentes da CAF.

A utilização de modelos matemáticos para o planeamento dos transportes permite a definição de rotas ótimas (minimizando a distância total percorrida) e uma alocação ótima da quantidade, de madeira, a transportar ao respetivo período de tempo, bem como uma gestão mais eficiente da frota de transporte. Por outro lado, os modelos matemáticos integrados em sistemas sofisticados de apoio à decisão permitem ao planeador equacionar alocações alternativas com vista a uma melhor decisão. No entanto, a dimensão colaborativa tem sido pouco estudada. Este é um aspeto chave porque, tipicamente, as operações de transporte de madeira envolvem vários fornecedores - locais de carga - vários transportadores e várias indústrias de transformação - locais de descarga.

As rotas de transporte diário, podem ser planeadas com o objetivo de diminuir os seus custos de transporte, mas só é possível obter uma maior eficiência se houver interações constantes, entre os vários agentes da cadeia de abastecimento (CA) ou havendo comunicação entre agentes de cadeias de abastecimento diferentes, mas que desenvolvem a mesma atividade. Tudo isto contribui para maiores benefícios para os parceiros envolvidos. É possível obter maiores benefícios/redução de custos operacionais se existir, por exemplo, um planeamento conjunto entre as empresas que possuem os recursos florestais e as empresas responsáveis pelo serviço de transporte dos mesmos.

Este tema é bastante atual, com temáticas por explorar e aplicar, onde qualquer melhoria/otimização que torne a CAF mais eficiente é sempre um ganho considerável, no que diz respeito a benefícios/redução de custo para os agentes intervenientes.

## 1.3 Objetivos e metodologia adotada

A presente dissertação irá contribuir para planeamento colaborativo do transporte florestal, tratando-se de uma área que se encontra ainda em crescente desenvolvimento.

Neste trabalho serão analisadas e aplicadas abordagens colaborativas e, a sua integração com modelos de otimização do planeamento do transporte de madeira.

O objetivo desta dissertação é a formulação e implementação de um processo de otimização do transporte na cadeia de abastecimento florestal em contexto colaborativo e uma respetiva análise aos potenciais ganhos de cada parceiro interveniente na colaboração, em distintos contextos colaborativos.

A metodologia adotada para a realização dos objetivos propostos foi a seguinte:

- formulação e implementação de um modelo de programação matemática do planeamento tático de transportes;
- estudo e análise de incentivos colaborativos para alocação dos lucros/custos aos parceiros da coligação;
- estudo de funcionalidades que devem integrar um sistema de apoio a decisão (DSS) com o intuito de levar ao utilizador todos os possíveis benefícios que a abordagem desenvolvida pode proporcionar;
- desenvolvimento de um caso de estudo com intuito de validar e analisar o modelo desenvolvido;
- análise de resultados e identificação de ganhos que advêm do planeamento colaborativo, comparando os seguintes resultados:
  - com e sem colaboração, entre os vários tipos de entidades intervenientes;
  - com e sem partilha de recursos florestais, entre os parceiros da coligação;
  - com e sem balanceamento das atividades de exploração e de transporte, pelas várias entidades colaborativas;
  - utilizando diferentes mecanismos de incentivos colaborativos;

## 1.4 Estrutura da dissertação

Esta dissertação encontra-se dividida em cinco capítulos. Neste capítulo 1, é feita uma introdução ao tema em estudo. No capítulo 2, é descrito o estado da arte e são apresentados trabalhos relacionados. No capítulo 3, é apresentada a proposta de solução elaborada, onde é detalhado a modelação desenvolvida, os incentivos colaborativos a utilizar, bem como, especificado a arquitetura do sistema. Já no capítulo 4, a metodologia proposta é aplicada num caso de estudo, onde também é realizada a respetiva análise de resultados. Para finalizar, no capítulo 5, são apresentados as conclusões, onde é descrito e avaliado a contribuição dada e apresentadas perspetivas sobre o trabalho futuro a desenvolver.

## Capítulo 2

### Estado da arte

Este capítulo apresenta os principais resultados da revisão da literatura, efetuada no âmbito desta dissertação. A revisão focou dois temas principais: “Planeamento de transportes na cadeia de abastecimento florestal” e “Colaboração entre agentes da cadeia de abastecimento florestal”. Na primeira secção é exposto o papel que as atividades de transporte desempenham na CAF. São apresentados os vários níveis de planeamento, atendendo à escala espaço-temporal do mesmo e às características das decisões a realizar, presentes na literatura (planeamento estratégico, tático, operacional e em tempo real), que têm como intuito tornar as operações de transporte mais eficientes. Na segunda e última secção, são abordados vários conceitos relacionados com a colaboração entre entidades no sector florestal. Apresentam-se também os principais benefícios que essa colaboração pode proporcionar aos participantes, as dificuldades que têm tornado a parceria, entre os vários agentes da cadeia florestal, ainda escassa, mas também técnicas de colaboração e abordagens presentes na literatura, que têm como propósito tornar o processo colaborativo mais claro e eficaz.

A revisão foi dividida nestas duas secções, pois são dois temas essenciais e complementares no assunto em estudo. A pesquisa foi feita, essencialmente, através da plataforma *Science Direct*. Foram usados filtros por artigos em inglês, publicados entre 2000-2015, usando combinações de palavras-chave como “*transportation*”, “*forest*” e “*collaboration*”. A análise e o estudo dos artigos pesquisados resultou em 14 publicações consideradas essenciais para o desenvolvimento deste documento, que se encontram enumeradas no capítulo Referências.

#### 2.1 Planeamento de transporte na cadeia de abastecimento florestal

As operações de transporte de madeira têm uma importância nuclear na eficácia e eficiência das cadeias de abastecimento florestal. De facto, o transporte corresponde a uma

grande fração dos custos operacionais totais, podendo chegar a valores, em média, a 45% dos custos totais, como sucede no Chile. Em outros países a parcela dos custos correspondentes ao transporte é, em média, cerca de 36% no Canadá, entre 18% e 25% na Austrália, 25% a 35% no sul dos EUA, 30% a 40% na Suécia e, perto de 40% na Nova Zelândia ([1]). Estes valores variam com a localidade, pois o custo de transporte está muito dependente da zona em questão, como por exemplo, da natureza da área florestal (espécie, idade, solo), do tipo de acessos existentes, dos proprietários (público ou privado) dos terrenos e da sua respetiva manutenção dos mesmos, entre outros fatores ([1]).

O principal objetivo do transporte, no sector florestal, é mover os recursos florestais (madeira) provenientes das áreas florestais para o seu primeiro destino, que normalmente são fábricas ou empresas de processamento de madeira. Noutros casos, os recursos florestais podem ser movidos, numa primeira fase, para uma zona de armazenamento e só depois transportado para a indústria. Por outro lado, também é necessário ter em consideração o transporte a jusante destes primeiros destinos, por exemplo para outras empresas ou clientes individuais ([1]).

A maioria das operações de transporte são efetuadas através do uso de veículos pesados (camiões), de vários géneros e com características próprias conforme o tipo de terreno, a carga a transportar ou as condições meteorológicas previstas. Mas outras opções, também elas válidas, são o uso de comboios ou de embarcações, principalmente para o transporte para longas distâncias ou de volumes de transporte mais elevados (Figura 2.1) ([1]).

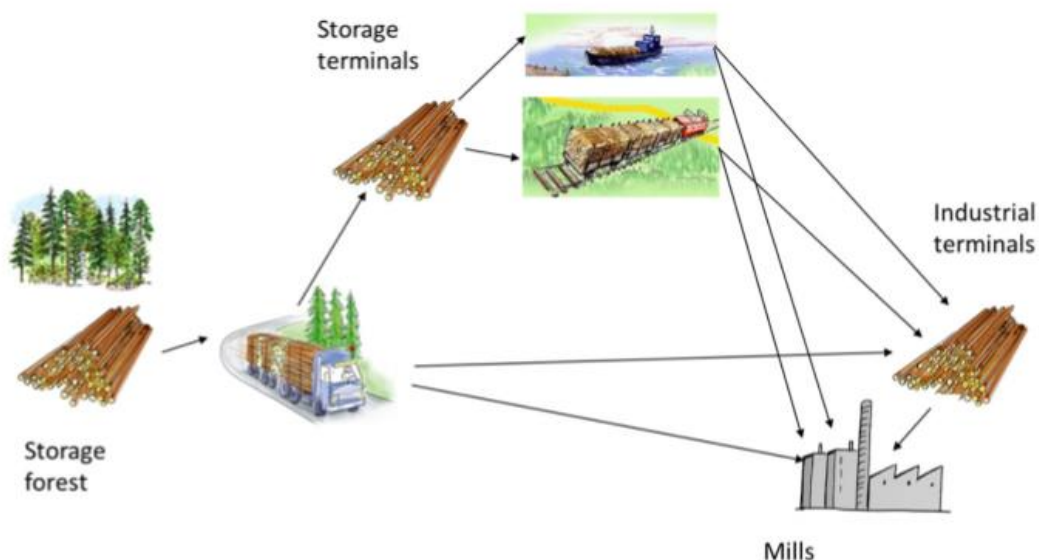


Figura 2.1 - Ilustração da operação de transporte desde as áreas florestais até à indústria ([2])

Um planeamento, das operações de transporte, eficiente, nas operações florestais, envolve muitas decisões e tem em consideração enumeras variáveis. A integração dos métodos e modelos de investigação operacional, no planeamento de transporte, veio facilitar a modelação e a obtenção de melhores soluções para problemas complexos. Ao longo dos tempos,



a complexidade, do processo de planeamento, tem vindo a aumentar, pois cada vez mais se consegue modelar a realidade com maior exatidão. Nos últimos 30 anos a diversidade de problemas de decisão e o tamanho das tarefas de planeamento aumentaram substancialmente ([2]).

Na literatura, vários autores, dividem o planeamento de transportes em quatro níveis distintos, atendendo à escala espaço-temporal do planeamento e à própria natureza das decisões a tomar (outros autores apenas abordam os três primeiros) ([1-3]):

- planeamento estratégico;
- planeamento tático;
- planeamento operacional;
- decisões em tempo real.

Em seguida, serão apresentados, em detalhe, os vários níveis de planeamento e a relação entre eles.

### **2.1.1 Planeamento estratégico**

A um nível estratégico, são tomadas decisões numa perspetiva temporal a longo prazo (aproximadamente 5 a 10 anos). Na grande maioria dos casos, as decisões de transporte são tomadas juntamente com as decisões de exploração. Estas decisões, estão maioritariamente, relacionadas com: a escolha de estratégias de gestão das áreas florestais; potenciais construções ou melhoramentos de estradas; a construção/encerramento de fábricas (escolher as melhores localizações tendo em conta a relação custo/mais-valias); seleção das localizações de armazenamento; investimentos para o processo de transporte (por exemplo, tipo máquinas, veículos de transporte, tecnologias de informação); como se pode confirmar em [1, 2, 4].

A abordagem estratégica escolhida tem um grande impacto em todas as decisões de investimento. Um planeamento a este nível define parâmetros importantes no que diz respeito, por exemplo, às características da frota de transporte, tecnologia necessária, níveis de *stock* ou às distâncias máximas das viagens a serem realizadas.

### **2.1.2 Planeamento tático**

O planeamento tático aborda decisões a médio prazo (aproximadamente 1 mês a 5 anos). Neste nível, a configuração espacial desempenha um papel essencial, pois os vários locais e as distâncias de viagem são elementos importantes no processo de decisão. Num planeamento tático, como também em alguns casos no planeamento estratégico, de transporte florestal, as decisões de transporte são tomadas juntamente com decisões relacionadas com a exploração das áreas florestais.

Os elementos básicos de decisão envolvem a escolha das áreas florestais a serem exploradas, a alocação de equipas para a atividade de exploração, mas também decisões relacionadas com o transporte dos recursos florestais para a indústria e, como tal, é necessária uma definição detalhada das frotas e do nível da capacidade total de todos os veículos de transporte. Isto implica a definição de como o fornecimento da madeira, desde as áreas florestais, será coordenado com a procura nas fábricas (destino) e com os produtos processados a jusante na cadeia ([2]).

São usados vários modos de transporte entre as áreas florestais e os primeiros destinos (fábricas, portos, armazéns) e, depois entre os destinos primários e os secundários. Mas onde existem grandes custos relacionados com o transporte é no primeiro caso, entre as áreas florestais e os primeiros destinos, e é aqui que a maioria dos autores da literatura, tentam otimizar as operações e consequentemente reduzir custos.

Outra razão importante para o planeamento tático, está relacionada com sazonalidade da CA, o que aumenta a necessidade de um planeamento prévio. A sazonalidade tem uma grande influência, principalmente com o transporte dos recursos florestais dos terrenos para o primeiro destino. Um exemplo disto é a sazonalidade das condições climáticas ao longo do ano, que podem fazer com que o transporte se torne inexequível durante certos períodos ([1]).

Um caso típico de sazonalidade ambiental, é a zona do Chile, onde no inverno torna-se muito difícil efetuar atividades de transporte devido às chuvas intensas. Com o objetivo de tornar a CA mais eficiente, muitas empresas optam por transportar no verão recursos florestais para uma zona de armazenamento em que seja possível e viável o transporte durante o inverno, para assim continuar a satisfazer a procura ([1]).

Um modelo base que facilmente pode ser expandido e transformado, consoante o objetivo pretendido e as restrições impostas, é apresentado em seguida ([2]):

### Parâmetros

$s_{itc}$  : quantidade de recursos florestais disponíveis na área florestal  $i$ , no período  $t$ , da equipa  $c$

$d_{jt}$  : procura na fábrica  $j$  no período  $t$

$f_{itc}$  : custo de exploração da área florestal  $i$ , pela equipa  $c$ , no período  $t$

$c_{ijt}$  : custo unitário de transporte entre a área florestal  $i$  e a fábrica  $j$ , no período  $t$

### Variáveis de decisão

$x_{itc}$  :  $\begin{cases} 1, \text{ se a área florestal } i \text{ for explorada no período } t, \text{ pela equipa } c \\ 0, \text{ caso contrário} \end{cases}$

$y_{ijt}$  : quantidade transportada desde a área florestal  $i$  para a fábrica  $j$ , no período  $t$

### Função objetivo

$$\min z = \sum_i \sum_t \sum_c f_{itc} x_{itc} + \sum_i \sum_j \sum_t c_{ijt} y_{ijt} \quad (2.1)$$

### Restrições

$$\sum_t \sum_c x_{itc} \leq 1, \quad \forall i \quad (\text{cada área florestal só pode ser explorada uma vez}) \quad (2.2)$$

$$\sum_i x_{itc} \leq 1, \quad \forall i, c \quad (\text{apenas uma alocação por equipa e por período}) \quad (2.3)$$

$$\sum_j y_{ijt} \leq s_{itc} x_{itc}, \quad \forall i, t, c \quad (\text{fornecimento de cada área florestal}) \quad (2.4)$$

$$\sum_i y_{ijt} \leq d_{jt}, \quad \forall j, t \quad (\text{procura em cada fábrica}) \quad (2.5)$$

$$x_{itc} \in \{0,1\}, \quad \forall i, t, c \quad (2.6)$$

$$y_{ijt} \geq 0, \quad \forall i, j, c \quad (2.7)$$

O modelo tem com objetivo minimizar os custos operacionais, especificamente os custos de exploração das áreas florestais, como também os custos de transporte, entre as zonas florestais e a indústria. O output do modelo é um plano, onde são discriminadas as áreas florestais a explorar por cada equipa, em cada período de tempo, como também a quantidade de recursos florestais que devem ser transportados entre os vários locais, em cada período de tempo, para assim conseguir alcançar os resultados obtidos.

Este modelo é um exemplo básico, mas típico, de um planeamento tático na CAF, que pode ser alterado para ter em considerações diferentes decisões e variáveis. Este modelo pode ser expandido para contemplar, por exemplo: inclusão de aspetos de colaboração entre várias empresas ou equipas, introdução de pontos de armazenamento, capacidade de exploração das equipas, restrições temporais, restrições de sazonalidade, entre outras enumeras possibilidades. O planeamento tático serve como ponte entre o planeamento estratégico e planeamento a curto prazo, o chamado planeamento operacional.

### 2.1.3 Planeamento operacional

O terceiro nível de planeamento é o planeamento operacional, a curto prazo (aproximadamente 1 dia a 6 meses). As decisões operacionais envolvem o planeamento das rotas, para os veículos de transporte, e a sua calendarização. Embora existam muitos tipos de transporte, os veículos pesados são o meio de transporte mais comum, sendo nestes que a maioria dos autores centra os seus estudos. As operações são realizadas por distintos tipos de

camhões, são diferenças em relação à capacidade de transporte, à potência do motor e ao nível dos pneus e respetiva capacidade de lidar com as dificuldades nas diferentes estradas.

Os problemas mais comuns envolvem o transporte da madeira desde as áreas florestais para o seu destino. Isto implica a alocação de camiões para estas operações, que podem ser realizadas de dois modos diferentes ([1]). Num primeiro modo, os camiões fazem viagens diretas entre as áreas florestais, onde são carregados, e o seu destino, onde a carga é descarregada. Isto acontece no caso das empresas com grandes áreas florestais, onde é possível encher a capacidade dos camiões com os recursos a transportar. Exemplos de países onde este modo é muito frequente é o caso do Chile e África do Sul ([1]).

Em alternativa, noutro modo de transporte, os camiões seguem uma rota planeada, onde vão recolhendo os recursos florestais em diferentes sítios e entregar em um ou mais destinos. Um exemplo onde a prática deste modo é muito comum é o caso da Suécia, onde as explorações florestais têm pequenos volumes de carga a transportar e que por si só não conseguem encher a carga total do camião. Como tal, para tornar o processo mais eficiente, é elaborada uma rota entre várias dessas pequenas áreas florestais, tendo como objetivo fazer com que o camião transporte os recursos com a sua capacidade máxima ([1]).

Os custos das operações de transporte têm em conta, normalmente, que os veículos possuem a sua capacidade de transporte completa, quando fazem o percurso entre a área florestal e a fábrica e, que em seguida retornam ao ponto de origem com o veículo vazio de mercadoria. Uma das principais razões para isto acontecer deve-se ao facto de nas áreas florestais haver, na generalidade dos casos, grandes volumes de recursos florestais, para serem transportados e, como tal são necessários vários veículos, para efetuar a operação de transporte. Isto implica que a proporção de carga transportada seja cerca de 50%, tendo em conta as viagens de ida e volta do veículo. Como a maioria dos veículos de transporte necessitam de regressar à “base de origem”, por exemplo, no fim do dia, e de sair, mais tarde, dessa mesma base, a proporção da carga transportada ainda diminui mais. Para contornar esta situação, muitos autores defendem o uso de *backhauling*, de uma forma combinada, entre áreas florestais ([1, 2]). Na Figura 2.2, podemos ver, na parte superior o transporte tradicional (sem *backhauling*), já na parte inferior é ilustrado uma possibilidade de *backhauling*, onde o veículo em vez de seguir com a carga vazia para a “base de origem”, vai a outra área florestal (que se encontra a uma distância que justifique o *backhauling*) e segue com a carga para a fábrica respetiva (que também se encontra a uma distância da base que legitime este modo de transporte). Desta forma é possível reduzir o custo das operações ([1, 2]).

Enquanto os problemas do planeamento operacional geralmente precisam de ser resolvidos num curto espaço de tempo, os problemas de planeamento estratégico podem ser resolvidos durante longos períodos de tempo. Desta forma, a heurística e meta-heurísticas são geralmente os mais usados para solucionar os problemas operacionais, enquanto a formulação MIP e os métodos de programação estocásticos são os mais apropriados para problemas de planeamento tático ou estratégico ([4]).

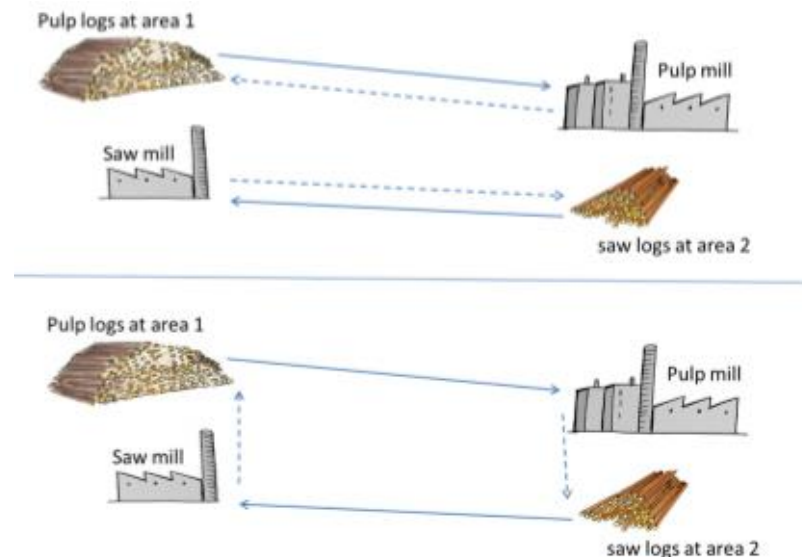


Figura 2.2 - Ilustração do transporte tradicional, sem *backhauling* (parte superior) e transporte com *backhauling* (parte inferior) ([1])

#### 2.1.4 Decisões em tempo real

O último nível de planeamento está relacionado com as decisões em tempo real. Este nível é muito pouco abordado na literatura. A maioria dos autores não tem em consideração a chegada e entrada dos veículos de transporte nas fábricas/armazéns de destino, quando estão a planificar as operações. Mas na realidade os veículos são confrontados com filas e tempos de espera prolongados, tanto nas áreas florestais (carregamento), como nos destinos (descarregamentos). Em [5] é referido que nas horas em que há mais congestionamento (perto da hora de almoço e fim do dia), o processo de descarga pode demorar até 4 horas, enquanto que o tempo que é considerado no planeamento para um descarregamento (sem congestionamento) é por volta de 40 a 50 minutos.

Todos estes tempos de espera aumentam o custo de transporte e fazem com que a fração correspondente seja bastante grande, no que diz respeito aos custos totais das operações da CAF.

Com o intuito de tornar as operações de transporte mais eficientes, [1] defende que a chegada dos veículos, às zonas de descarga, deve ser conhecida antecipadamente. Assim, tem de haver uma colaboração entre os agentes intervenientes no processo, no planeamento da chegada dos veículos ao destino, que deve ter início no planeamento tático. Deste modo, quando os camiões chegarem ao seu destino poderão ser encaminhados para a zona de descarga mais apropriada, de uma forma mais eficiente e otimizada.

Para que este planeamento seja possível, o responsável pela planificação dos transportes, terá de ter em consideração as horas em que os estabelecimentos de destino abrem e encerram ou, através de uma colaboração com esses estabelecimentos, saber quais as melhores “janelas temporais” para a receção da carga. Por parte do responsável pelo estabelecimento, que recebe a carga, poderá ser elaborado um plano de receção tendo em conta um *ranking*, onde alguns critérios a ter em conta poderão ser: a importância da carga a

receber, comportamento/horários de chegada em viagens anteriores (por parte do responsável pelo veículo) e próximas viagens que o veículo ainda tenha de realizar. Tudo isto com o objetivo de diminuir ao máximo o congestionamento e, conseqüentemente, minimizar os custos ([5]).

Idealmente, todas as decisões relacionadas com o transporte, deviam ser tomadas em conjunto entre todos os agentes da cadeia de valor. Torna-se fundamental e crucial a criação de coligações entre as várias entidades intervenientes na CAF, que de certa forma intervêm nestes tipos de planeamento. Esta colaboração entre os diversos parceiros da coligação poderá potencializar, mais facilmente, uma maior otimização das atividades operacionais e, conseqüentemente, trazer maior eficiência para a CAF.

## **2.2 Colaboração entre agentes da cadeia de abastecimento florestal**

Uma cadeia de abastecimento pode ser definida, de uma forma genérica, como sendo uma sequência de empresas autónomas, mas que dependem umas das outras para colocarem os seus produtos e serviços no mercado. Na CAF existe uma sequência de atividades inter-relacionadas que, por exemplo, pode ter como início a exploração das áreas florestais, passando pelo transporte dos recursos florestais, pelo tratamento/processamento destes mesmos recursos e, ter como última atividade, a entrega do produto acabado no consumidor final.

Como a CAF é composta por atividades distintas, vai ter, conseqüentemente, múltiplos agentes/intervenientes: desde os donos das áreas florestais, empresas florestais responsáveis pelo processo de transporte, responsáveis pelas fábricas de processamento, até aos vendedores finais.

A colaboração entre os vários agentes da CA, que geralmente são independentes uns dos outros, mas que partilham interesses comuns, pode vir a gerar benefícios para todos os intervenientes. Aliás, uma colaboração só é viável se gerar benefícios para todos os participantes, caso contrário o agente que faça parte da coligação e não receba mais-valias por isso, vai preferir não fazer parte da mesma, podendo por assim em causa o processo colaborativo ([6]). Entende-se por colaboração, trabalhar em conjunto, a ação de colaborar com alguém, cooperar, participar ([7]).

A literatura, de um modo geral e no seu conjunto, define de forma idêntica o significado de cadeia de abastecimento colaborativa. Em [8] é definido que existe uma colaboração quando “duas ou mais entidades formam uma aliança/coligação e trocam/partilham recursos, com o objetivo de decidir ou realizar atividades que gerem benefícios, que de uma forma individual não conseguiriam obter”. Defende ainda que é crucial saber como iniciar e gerir a colaboração de uma forma eficiente, como também saber como partilhar os recursos e os benefícios de uma forma justa, para assim garantir a estabilidade da colaboração a longo prazo.

A grande parte dos estudos/artigos destaca como principais benefícios, de uma colaboração de sucesso, a redução de custos e o aumento da eficiência das operações logísticas. Estes são dois fatores que estão relacionados entre si, pois as operações logísticas são atividades que têm, por norma, grande impacto nos custos totais de uma empresa, e são operações que envolvem múltiplos agentes que, consequentemente, proporcionam várias oportunidades de colaboração, entre esses intervenientes.

Através de uma revisão bibliográfica, percebe-se que ainda existe muito pouca informação sobre a criação e gestão de uma colaboração entre agentes de uma CAF. Em [6], são realizadas várias entrevistas aos intervenientes de uma potencial CA colaborativa, que demonstram interesse em iniciar uma colaboração, até porque conhecem os possíveis benefícios que lhes podem trazer. No entanto, o sentimento geral é que o processo pode ser dispendioso, em termos monetários e temporais, sendo o impedimento principal não saber como iniciar uma aliança de uma forma eficiente. Tudo isto, devido à escassa informação/conhecimento sobre como se deve envolver num processo colaborativo, que tipo de passos devem ser seguidos para a criação e gestão de uma colaboração, mas também que tipo de técnicas e estratégias colaborativas são mais adequadas.

De uma forma geral a harmonização de conceitos, sobre colaboração ao longo de toda a CAF, e o desenvolvimento de abordagens de como iniciar e manter uma colaboração, ainda são de certa forma escassas. Apesar disso, tem vindo cada vez mais a ser tema de estudo, particularmente em [8] e mais tarde aprofundado em [6], onde é feita uma análise e uma *framework*, contemplando os vários aspetos e fases de colaboração.

A *framework* proposta está dividida em três fases distintas (Figura 2.3): 1- Avaliação das oportunidades de colaboração, 2- Parametrização da estratégia de colaboração e 3- Desenvolvimento de técnicas de colaboração. Estas fases incorporam quatro conceitos, que conseguem definir e caracterizar de uma forma adequada uma CA colaborativa:

- oportunidades de colaboração;
- estratégia de colaboração;
- técnicas de colaboração;
- ferramentas computacionais.

Nesta abordagem, os autores dão especial ênfase aos vários parâmetros da estratégia de colaboração, à seleção, ao desenvolvimento e ao uso das técnicas de colaboração, incluindo o planeamento das atividades com o auxílio de modelos IO e de incentivos colaborativos, como também em relação às mais-valias que as ferramentas computacionais podem trazer para os processos colaborativos.

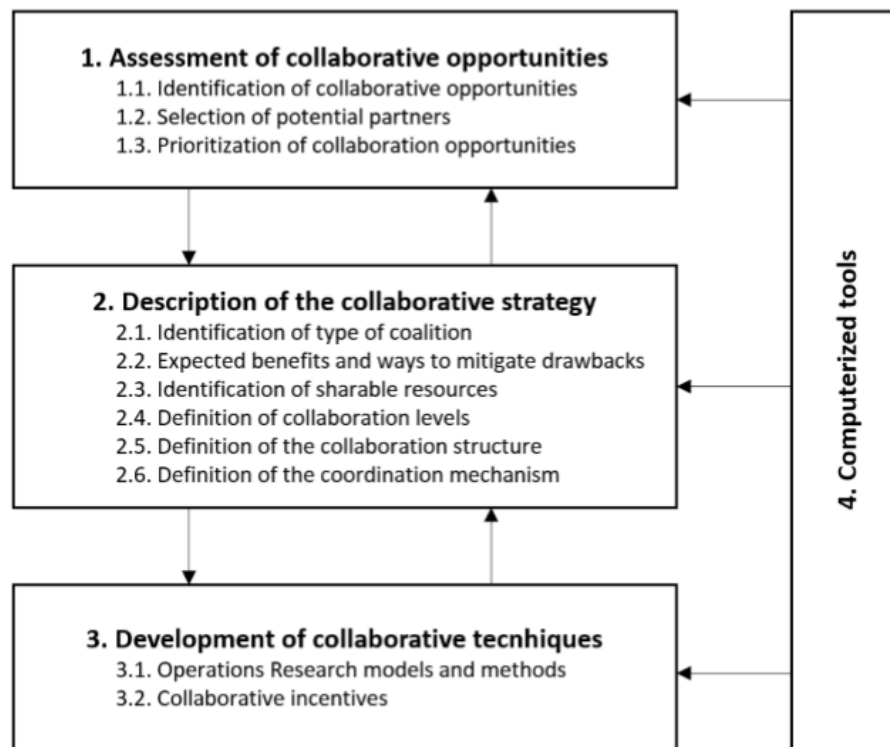


Figura 2.3 - Principais fases e subfases para uma CA colaborativa, proposto por [6]

Nos subcapítulos seguintes, serão abordados cada um destes conceitos tal como apresentados na literatura.

### 2.2.1 Oportunidades de colaboração

Oportunidades de colaboração são, segundo [6], “diferentes possibilidades de haver colaboração entre empresas que podem ser identificados pelos potenciais parceiros”. Quando os processos de duas ou mais empresas se inter-relacionam, como é o caso das empresas que fazem parte da mesma CA, podem ser identificadas oportunidades de colaboração. Por exemplo, entre uma empresa que faz a exploração das áreas florestais e uma empresa de transporte de mercadoria, podem ser identificadas oportunidades de colaboração, como é o caso de troca de informação sobre o volume de recursos florestais a transportar, prazos de entrega, disponibilidade de camiões na frota da empresa de transporte, etc. Os parceiros da colaboração devem listar os potenciais benefícios que cada oportunidade de colaboração pode gerar e seleccionar as oportunidades mais promissoras.

A escolha de cada um dos parceiros, para ser parte integrante da colaboração, é outra tarefa relevante para o sucesso ou não da coligação. A compatibilidade entre os intervenientes é crítico para o futuro da colaboração e, quanto mais envolvente for a parceria, maiores serão os benefícios ([9]). Vários estudos defendem que o tamanho da coligação (número de intervenientes) é outra decisão crítica a ser tomada. Em [9] é defendido que a sinergia aumenta com o aumento do tamanho da coligação e que “existe um limite no aumento marginal da sinergia à medida que o tamanho da coligação aumenta, o que significa que há um limite



acima do qual o aumento das sinergias geradas pela adição de outra empresa é negligenciável”. Uma vez que “o custo e a complexidade da execução da colaboração aumenta, inevitavelmente, com o número de parceiros, isso significa que, na prática, existe um limite para o número de empresas/intervenientes que podem colaborar de uma maneira eficaz”. Isto indica que quando o número máximo de intervenientes na colaboração é ultrapassado, o custo de executar e gerir a coligação pode vir a ser superior aos potenciais benefícios provenientes da mesma.

### 2.2.2 Estratégia de colaboração

Segundo [6], a estratégia de colaboração é definido em como sendo “a forma como a colaboração na CA é projetada, com o objetivo de alcançar os benefícios esperados”. Para projetar a colaboração, [6] considera que conceitos como: tipo de colaboração pretendida, benefícios esperados, recursos a serem partilhados, o nível de colaboração, a estrutura da coligação e os mecanismos de coordenação, devem ficar definidos e aceites por todos os parceiros, também como forma de gerir potenciais conflitos no futuro.

Outro assunto a ficar estabelecido neste acordo de estratégia de colaboração, poderá ser a determinação de medidas de mitigação de riscos/barreiras, para que todos possam contribuir para uma colaboração mais eficiente e duradoura.

#### Tipos de colaboração

Uma colaboração pode ser estabelecida entre agentes pertencentes à mesma empresa ou entre agentes que pertencem a empresas distintas.

A maioria dos autores dá preferencial destaque às colaborações entre agentes de empresas diferentes, sendo estas divididas em três tipos: vertical, horizontal e lateral ([8]).

Uma colaboração vertical ocorre quando os participantes fazem parte da mesma CA, quer seja com parceiros a jusante ou a montante. A partilha de informação, para reduzir o efeito *bullwhip*, entre agentes pertencentes à mesma CA, é um exemplo comum de uma colaboração vertical ([8]).

Uma colaboração horizontal ocorre quando os participantes fazem parte de CA diferentes. Quando, por exemplo, uma empresa concorrente ou não concorrente, de diferente CA, concorda na partilha de capacidade de produção ou na partilha de capacidade de armazenamento ([8]).

Um outro tipo de colaboração é ainda acrescentado por [8], que defende a combinação das colaborações verticais e horizontais, originando uma colaboração designado por lateral, diagonal ou colaboração sinérgica.

## Barreiras da colaboração

As potenciais barreiras, ou forças de resistência, que a maioria dos agentes que queiram fazer parte de uma coligação eficiente enfrentam, são intimidantes. As barreiras que podem dificultar a estratégia de colaboração de uma CA dividem-se em duas categorias: “rivalidade entre empresas” e “complexidade da gestão” ([10]).

As barreiras da categoria “rivalidade entre empresas” estão relacionadas com um desalinhamento/desentendimento sobre os motivos e comportamentos dos parceiros da colaboração. Enquanto as barreiras da categoria “complexidade da gestão” estão relacionadas com a complexidade de criar e gerir a estratégia de colaboração ([10]).

Em [11] é apresentado uma revisão da literatura sobre as barreiras de uma CA estratégica, essa revisão teve como base a literatura dos últimos 25 anos (desde da data de publicação, 2008) e vários contactos com gestores da área da produção, compras e da logística. Esta revisão teve como um dos seus resultados, uma compilação das dez barreiras consideradas mais relevantes:

### Barreiras da “rivalidade entre empresas”

- partilha de informação inadequada;
- objetivos operacionais inconsistentes;
- pouca disponibilidade para a partilha de riscos e benefícios (comportamento oportunista);
- pouca predisposição para a partilha de informação.

### Barreiras da “complexidade da gestão”

- falta de orientação/conhecimento sobre como criar e gerir uma colaboração;
- processos mal avaliados em termos de custos;
- medidas/decisões não delineadas;
- fronteiras organizacionais;
- medição da contribuição da CA inconsistente/inadequada
- medição da procura inconsistente, devido à sua incerteza.

A estas barreiras é ainda possível adicionar mais algumas, apresentadas por [8], no caso da coligação decidir usar ferramentas computacionais, com o objetivo de tornar as operações mais eficientes, tais como:

- custo e complexidade da implementação das tecnologias avançadas;
- incompatibilidade dos sistemas, entre parceiros ou potenciais parceiros;
- segurança da informação e confidencialidade.

### Benefícios da colaboração

Existem vários tipos de benefícios identificados na literatura. Podendo estes ser divididos em duas categorias distintas: benefícios quantitativos e benefícios qualitativos.

A maioria dos benefícios identificados são quantitativos, sendo que os mais citados pelos autores ([6, 11]) são:

- redução de custos;
- aumento da produtividade;
- diminuição do *lead-time* da produção;
- aumento da capacidade de utilização dos recursos;
- aumento do índice de satisfação dos clientes.

Em relação aos benefícios qualitativos os autores ([6, 11]) destacam as seguintes mais-valias:

- aumento do poder de negociação;
- maior flexibilidade;
- aumento da área geográfica coberta;
- melhoria da previsão de vendas;
- redução do efeito *bullwhip* / melhor coordenação.

Todos estes benefícios fazem, de uma forma direta ou indireta, com que a CA se torne muito mais eficiente.

### Níveis de colaboração

Uma colaboração estratégica implica a partilha de recursos, como a partilha de informação, infraestruturas, recursos humanos, entre outros. Esta partilha de recursos está relacionado com o nível da colaboração estabelecida. A maioria dos autores defende que o aumento do nível de colaboração tem de estar relacionado com o grau de complexidade, maturidade e de intensidade da mesma ([6]).

Em [6] é classificado e categorizado, com base no trabalho desenvolvido por [8], a colaboração em quatro níveis (Figura 2.4):

- **Partilha de informação** (*Information exchange*), classificado como o nível mais básico de uma colaboração, onde os intervenientes partilham informação relevante entre si. Exemplo de possíveis informações partilhadas podem ser: dados relativos à procura, inventários, estratégias de negócio, rotas de transportes, etc.

- **Decisão conjunta** (*Joint decision*), é o nível seguinte em termos de maturidade da coligação. Para além da troca de informação, os parceiros coordenam algumas decisões em conjunto. Um exemplo de uma decisão conjunta pode ser a definição de preços ou o estabelecimento de prazos de entrega de carga.
- **Planeamento conjunto** (*Joint planning*), é o nível subsequente que já corresponde a uma coligação com um grau de complexidade mais elevado. Os parceiros elaboram um planeamento coordenado, i.e., planeiam em conjunto as operações a serem realizadas, podendo estas serem executadas de forma independente. Um exemplo deste nível de colaboração é muito comum no Canadá, no que diz respeito à coordenação das atividades e alocação dos custos transacionais, levando as empresas florestais a maiores lucros.
- **Execução conjunta** (*Joint execution*), é o nível de colaboração mais sofisticado, onde os parceiros planeiam e executam as operações em conjunto. Existe uma total sintonia entre os agentes intervenientes. A partilha da capacidade de transporte ou o *backhauling*, que diz respeito ao regresso ao ponto de origem do veículo de transporte, com carga proveniente do destino inicial (ou perto desse local), são atividades resultantes deste tipo de colaboração e, neste caso específico, têm como objetivo minimizar os custos de transporte.



Figura 2.4 - Níveis de Colaboração

### Estrutura da coligação

A estrutura da coligação depende muito da dimensão das empresas envolvidas, da filosofia da organização, mas também do nível de colaboração que os intervenientes desejem ([6, 8]). Os parceiros devem definir que tipo de estrutura pretendem para a sua coligação, sendo que na literatura são identificados três estruturas distintas: centralizada, descentralizada e híbrida.

Uma coligação centralizada caracteriza-se pela concentração do poder de decisão das atividades a serem desenvolvidas, em um ou num conjunto minoritário de intervenientes (parceiros chave) ou então numa entidade externa à coligação responsável pela supervisão e orientação. A maioria dos autores defende que uma aliança centralizada não garante equidade/igualdade entre todos os seus intervenientes, mas que porventura pode proporcionar maiores lucros para a coligação (como um todo), em comparação com outro tipo de estruturas ([6]).

Por outro lado, uma coligação descentralizada não tem uma autoridade centralizada, que tome as decisões em nome de todos os parceiros. Neste caso, cada um dos intervenientes

tem um poder de decisão autónomo, tomando as suas escolhas conforme os seus objetivos, podendo haver o risco de estas entrarem em conflito com as decisões tomadas pelos outros parceiros. Este tipo de estrutura consegue fazer com que a coligação seja mais realista, com menos custos de implementação e, um menor risco de comportamentos oportunistas ([6]).

A estrutura híbrida é um cruzamento das duas outras estruturas. Os parceiros, ao longo tempo de vida da coligação, vão efetuando ajustes e variando entre uma estrutura mais centralizada ou mais descentralizada, isto com o objetivo de alcançar os maiores proveitos económicos possíveis ([6]).

### **Mecanismos de coordenação**

Os mecanismos de colaboração fazem parte de um outro parâmetro importante, referido em [6], a ser estabelecido que consiste em definir como as operações vão ser controladas e coordenadas. Na literatura, a maioria dos autores divide os mecanismos em duas categorias principais: coordenação por execução e coordenação por planeamento.

Quando a coordenação entre os parceiros ocorre diretamente durante a execução das atividades, é chamada de coordenação por execução. Por outro lado, quando a coordenação é realizada previamente, onde os parceiros planeiam e programam em conjunto as operações a realizar, é apelidada de coordenação por planeamento ([6]).

A literatura defende que a coordenação por planeamento é mais adequada para colaborações horizontais, em atividades de logística, onde há mais tendência para a partilha de recursos.

### **2.2.3 Métodos e técnicas de apoio à colaboração**

Várias técnicas de colaboração são mencionadas na literatura, tendo estas como objetivo executar as estratégias de colaboração elaboradas de uma forma eficiente. Uma revisão da literatura, sobre esta temática, permite reagrupar as técnicas em duas categorias principais: métodos/modelos de investigação operacional e incentivos de colaboração.

#### **Métodos e modelos de investigação operacional**

Os métodos e modelos de investigação operacional (IO) são especialmente importantes quando os parceiros desejam um nível de colaboração de decisão conjunta, planeamento conjunto ou de execução conjunta, ou seja, uma coligação com um nível de colaboração mais complexo. No que diz respeito ao nível mais básico de colaboração (partilha de informação), estas técnicas também podem ser muito úteis para o planeamento individual de cada parceiro e este por sua vez, pode partilhar os resultados das operações, com os parceiros. As abordagens mais comuns deste tipo de técnicas são os métodos de programação linear e formulações MIP (*mixed integer programming*), mas também heurísticas e análises estatísticas. Estes modelos

têm como maior vantagem conseguir solucionar problemas de grande dimensão e de grande complexidade e têm, em regra geral, como resultado um planeamento. As decisões presentes no planeamento variam com o tipo de plano, podendo ser decisões de longo prazo de um planeamento estratégico, relacionadas com a gestão florestal ou desenvolvimento da empresa, ou decisões a médio/curto prazo, tais como planear as operações de transporte ou de exploração florestais ([6]).

### **Incentivos colaborativos**

A segunda categoria de técnicas de colaboração está relacionada com a partilha de benefícios. Sempre que existe um contexto de colaboração, onde o lucro final é maximizado, o lucro das atividades, em ambiente colaborativo, é superior ou igual ao lucro dessas mesmas atividades num contexto não colaborativo. Mas existe a possibilidade de essas mais-valias existirem apenas para uma das partes. Todos os parceiros precisam de incentivos/mais-valias, que de forma individual não conseguiriam obter, para assim fazer parte da coligação, pois caso contrário vão preferir não colaborar ([6]).

Os incentivos colaborativos são utilizados para assegurar uma distribuição de benefícios justa, entre todos os elementos da coligação, sendo assim também considerados instrumentos de estímulo à colaboração e a uma participação em prol do sucesso da coligação. Para níveis de colaboração do tipo planeamento conjunto ou execução conjunta, os incentivos de colaboração podem ser incorporados nos modelos de otimização, como parte integrante do processo de planeamento, ou utilizados durante a distribuição/alocação de lucros/custos, pelos parceiros da colaboração.

Os incentivos colaborativos podem ser divididos em incentivos de carácter mais simples e outros mais sofisticados, sendo estes últimos, em grande parte, baseados nos conceitos da teoria de jogos cooperativos.

Os incentivos mais simples são acordos contratuais realizados entre os parceiros, sendo os mais habituais ([6]):

- acordos em relação aos preços praticados (negociação de preços justos para todas as partes);
- descontos por quantidade ou bónus/prémios (desconto de preço com o aumento da quantidade);
- políticas de retorno (os produtos não vendidos são devolvidos);
- modos de atuar e de colaborar (estabelecimento de regras).

Incentivos deste género são mais orientados para colaborações verticais, quando as entidades colaboram com agentes que estão a montante ou a jusante da sua posição na CA.

No caso dos incentivos mais sofisticados estes são, de um modo geral, métodos de distribuição de lucros/custos. O lucro total obtido pela colaboração é distribuído aos parceiros da coligação, tendo em consideração o modelo económico escolhido previamente, por todos os

intervenientes. Alguns dos métodos mais comuns, apresentados na literatura ([9, 12, 13]) são os seguintes:

- métodos proporcionais;
- método baseado no valor de *Shapley*;
- métodos baseados nos lucros/custos separáveis e não separáveis;
- “*nucleolus*”;
- método baseado nos *shadow prices*.

A maioria deste tipo de incentivos colaborativos são apresentados na literatura como métodos de alocação de custo, isto porque na grande parte das situações colaborativas os parceiros apenas partilham custos e não receitas. Um bom exemplo disso é o caso da colaboração nas atividades de transporte, onde os parceiros desempenham um papel preponderante na redução dos custos operacionais, através da partilha da capacidade de transporte. Nestes casos, as receitas de cada parceiro vão ser, teoricamente, as mesmas que em condições não colaborativas, a diferença está nos custos operacionais e, consequentemente, no lucro final, que se for uma colaboração eficiente, serão superiores. Como tal, estes métodos são descritos, na maioria dos casos, como alocações de custos mas, no fundo, também representam uma distribuição de lucros.

Cada um dos métodos apresentados tem diferentes propriedades que os distinguem uns dos outros:

- **Eficiência:** um método é considerado eficiente quando distribui o lucro/custo total por todos os parceiros da coligação. Pode ser expresso matematicamente por  $\sum_{j \in N} y_j = c(N)$ , sendo  $j$  cada parceiro da coligação  $N$ .
- **Individual rational:** um método satisfaz a propriedade de *individual rational* se nenhum participante tiver custos superiores (ou lucro final inferior) do que teria em circunstâncias não colaborativas. Esta propriedade pode ser expressa, tendo em conta os custos, por  $y_j \leq c(\{j\})$ , sendo  $y_j$  os custos alocados a cada entidade e  $c(\{j\})$  os custos em ambiente não colaborativo.
- **Simetria:** um método é classificado como simétrico quando duas entidades arbitrárias têm o mesmo contributo marginal para qualquer subcoligação  $S$  ( $S \subset N$ ) e são lhes alocados os mesmos lucros/custos.
- **Propriedade aditiva:** esta propriedade é satisfeita quando o método aloca lucros/custos que não são influenciados pela criação de grandes coligações, ou seja, os lucros que são distribuídos à entidade  $i$  e à  $j$  seriam, portanto, iguais ao lucro de uma entidade que representasse  $i + j$ .
- **“Dummy property”:** diz-se que o método satisfaz a “dummy property” se quando um participante de uma coligação não contribuir nem prejudicar a mesma, for lhe alocado um lucro/custo de zero.

- **Estabilidade:** o método realiza uma alocação/distribuição estável quando a nenhum participante ou subcoligação de participantes, for alocado um custo maior do que se essa entidade ou subcoligação operasse de forma individual. Pode ser expresso pelas duas condições:

$$\sum_{j \in N} y_j = c(N) \quad (2.8)$$

$$\sum_{j \in S} y_j \leq c(S) \quad (2.9)$$

### Métodos proporcionais

O método mais simples é conhecido como “*egalitarian*” e consiste em dividir o lucro/custo pelo número de entidades ( $n$ ) da coligação ( $y_j = \frac{c(N)}{n}$ ). Este método é eficiente, pois distribui o lucro/custo total por todos os parceiros, mas não possui qualquer outra das propriedades, podendo ser considerado bastante injusto, para com os intervenientes na colaboração ([12]).

Outro método mais robusto é a divisão do lucro/custo através da proporção de alocação ( $w_j$ ) associado a cada parceiro. Um dos modos mais comuns de cálculo destas proporções, baseia-se nos custos que cada entidade tem quando esta não é parte integrante da coligação, ou seja, com base nos “*stand alone cost*” ( $c(\{j\})$ ). Este método é expresso pela fórmula  $y_j = w_j \times c(N)$  onde  $w_j$  representa o “peso” que cada entidade  $j$  tem no custo total em colaboração ( $c(N)$ ), que é calculado através dos custos individuais em circunstâncias não colaborativas  $w_j = \frac{c(\{j\})}{\sum_{i \in N} c(\{i\})}$ . Este mecanismo é visto como não sendo muito justo para com as entidades intervenientes, isto porque não tem em consideração a contribuição de cada um, na coligação ([13]). Este método é considerado eficiente e *individual rational*, mas não é considerado estável, nem possui propriedades, como por exemplo, a “*dummy property*” ([12]).

### Método baseado no valor de Shapley

O lucro/custo alocado através do método baseado no valor de *Shapley* está associado à entrada de cada entidade na coligação. Este método parte do pressuposto que cada parceiro entra um de cada vez na coligação. À medida que cada entidade entra na coligação é-lhe alocado o lucro/custo marginal, isto é, a variação no lucro/custo total que a sua entrada na coligação cria. O valor alocado a cada entidade varia consoante a ordem a que os parceiros entram na colaboração. Este método calcula a média da contribuição marginal de cada participante  $j$ , se os participantes entrarem na coligação de uma forma totalmente arbitrária, sendo, neste caso, o custo associado a cada entidade o seguinte ([13]):



$$y_j = \sum_{S \subset N: j \in S} \frac{(|S| - 1)! (|N| - |S|)!}{|N|!} (c(S) - c(S - \{j\})) \quad (2.10)$$

Sendo  $S$  todas as possíveis subcoligações formadas com os parceiros da grande coligação  $N$ .

Este método satisfaz as seguintes propriedades: eficiência, simetria, “*dummy property*” e a propriedade aditiva. Por outro lado, este método de alocação não garante a estabilidade da coligação, isto porque a propriedade de *individual rational* não é necessariamente satisfeita em todos os casos ([13]).

### Métodos baseados nos custos separáveis e não separáveis

O custo pode ser dividido em dois tipos: separável e não separável. O custo separável pode ser calculado através da seguinte expressão  $m_j = c(N) - c(N - \{j\})$ , que corresponde ao custo marginal de cada entidade, i.e., o aumento de custo da coligação que se verifica quando a entidade  $j$  entra na mesma. O custo não separável é obtido através de  $g(N) = c(N) - \sum_{j \in S} m_j$  e pode ser distribuído aos parceiros através de vários métodos ([13]):

- **Equal Charge Method (ECM)**: distribui o custo não separável, de igual forma, entre todas as entidades ( $w_j = 1$ );
- **Alternative Cost Avoided Method (ACAM)**: distribui os custos, com base na poupança de custos que é feita por cada entidade que entra na colaboração, tendo assim cada parceiro uma proporção do lucro não separável  $w_j = c(\{j\}) - m_j$ .
- **Cost Gap Method (CGM)**: distribuição de custos com base nos “pesos” (proporção)  $w_j = \min_{S: j \in S} g^c(S)$ , onde  $S$  representa todas as subcoligações possíveis de serem formadas pelas entidades pertencentes à grande coligação  $N$  e onde  $g^c(S)$  é chamada a diferença de custo (*cost gap*). A diferença de custo ( $g^c(S)$ ) é calculada da seguinte forma  $g^c(S) = c(S) - \sum_{j \in S} m_j$  e corresponde à diferença entre o custo total de cada subcoligação  $S$  e a soma dos vários custos marginais ( $m_j$ ). Esta escolha de “pesos” pode ser explicada, considerando  $m_j$  como o *lower bound* da contribuição de custo de cada entidade da coligação  $N$ . Cada entidade pode agora argumentar que não é justo ela contribuir mais do que  $m_j + w_j$  para o custo total da coligação (*upper bound*).

O custo final atribuído a cada entidade (para qualquer um dos casos) é expressa por:

$$y_j = m_j + \frac{w_j}{\sum_{i \in N} w_i} g(N) \quad (2.11)$$

A distribuição de custos através dos métodos ECM e ACAM garantem a eficiência e a simetria. O método ACAM não tem em consideração subcoligações em que o número de entidades é maior que 1 e menos que  $N-1$ , não garantindo assim a sua estabilidade para todos os casos, ou seja, existe a possibilidade de as entidades poderem quebrar a colaboração e começar a sua, com mais-valias para si.

Já no caso do método CGM, este já tem em consideração todas as possíveis subcoligações que podem vir a ser formadas, entre entidades da grande coligação  $N$ . Pode existir a situação de os resultados de ACAM e CGM serem iguais, quando as coligações com número de elementos maior que 1 e menor que  $N-1$  não forem relevantes para a alocação. O método CGM satisfaz assim a eficiência, a simetria, *individual rational* e a “*dummy property*”.

### “Nucleolus”

O método “*nucleolus*” é definido na literatura ([13]) como sendo um mecanismo de alocação de custos que tem por base a ideia da minimização da “infelicidade” máxima. A “infelicidade” neste caso, é medida pelo “excesso” da alocação, que é definida da seguinte forma:  $e(x, S) = c(S) - \sum_{i \in S} x_i$ . O “excesso” pode ser interpretado como o ganho que as entidades teriam se saíssem da coligação  $N$  e integrassem a subcoligação  $S$ .

Este método garante a eficiência, a *individual rational* e a “*dummy property*”. A alocação resultante deste mecanismo é também considerada como estável.

### Método baseado nos *shadow prices*

O método baseado nos *shadow prices* é geralmente utilizado nos casos em que é utilizado um modelo de programação linear, para a obtenção da função objetivo do problema. A alocação de custos a cada entidade da coligação pode ser então feita através do cálculo da sua respetiva contribuição para o resultado da função objetivo do modelo. Este tipo de alocação apenas tem em consideração, a contribuição de cada interveniente, não tendo em conta outros aspetos, por exemplo relacionados com a estabilidade da coligação ([13]).

## 2.2.4 Ferramentas computacionais

As ferramentas computacionais constituem uma grande ajuda no que diz respeito à implementação das técnicas de colaboração e, consequentemente, na execução da estratégia colaborativa. Numa fase inicial e quando o nível de colaboração é básico, as *spreadsheets* eletrónicas, enviadas por *e-mail*, são as ferramenta mais comuns entre os agentes, para a partilha de informação ([6]). À medida que o nível de colaboração se torna mais complexo são necessárias ferramentas computacionais que possibilitem a partilha de informação de um modo automático, dinâmico e em tempo real, para uma consequente ajuda na implementação da estratégia delineada. Nesta fase poderá ser necessário e vantajoso um sistema de suporte à

decisão (DSS - *Decision Support System*), onde os parceiros da coligação devem decidir, no caso de quererem utilizar um DSS, se desenvolvem uma solução de raiz ou adotam uma solução comercial já existente ([6]).

Um DSS trata-se de uma ferramenta computacional com métodos de planeamento e modelos IO integrados e com uma interface gráfica para o utilizador, ajudando assim o agente no planeamento e nos processos de tomada de decisão ([6]).

Um bom exemplo do que deve ser uma ferramenta computacional, num contexto colaborativo, é o *Virtual Transportation Manager* (VTM), apresentado por [3]. O VTM é um DSS, em plataforma web, de suporte ao planeamento operacional de rotas, para os veículos de transporte, num ambiente colaborativo (Figura 2.5) ([3]).

Este DSS foi aplicado num caso de estudo, no Canadá, envolvendo uma empresa fornecedora de recursos florestais *Groupe Transforêt*. Esta empresa compra troncos de madeira a milhares de fornecedores, da mais pequena dimensão, classifica-os e, em seguida revende, a uma rede com cerca de 20 clientes regulares.

Este caso de estudo teve a duração de 10 meses (de julho de 2006 até Abril de 2007) tendo o sistema VTM sido responsável pelo planeamento das atividades de transporte a jusante, ou seja, foi responsável pela gestão dos transportes realizados para a rede de 20 clientes, enquanto o transporte a montante continuou a ser da responsabilidade dos coordenadores da empresa ([3]).

Concluído o caso de estudo, foi possível verificar que com o sistema VTM obteve-se resultados de uma potencial redução de custos na ordem dos 7,3% a 10,5%, em comparação com resultados obtidos sem o uso do DSS ([3]).

As atividades de transporte, desde das áreas florestais até à indústria, representam, em média, cerca de 36% do custo operacional total para a entrega da madeira a uma empresa de processamento de recursos florestais, no Canadá. Com estas elevadas quantidades de dinheiro gasto em transporte, qualquer redução de custo, mesmo considerada pequena, pode levar a poupanças substanciais ([3]).

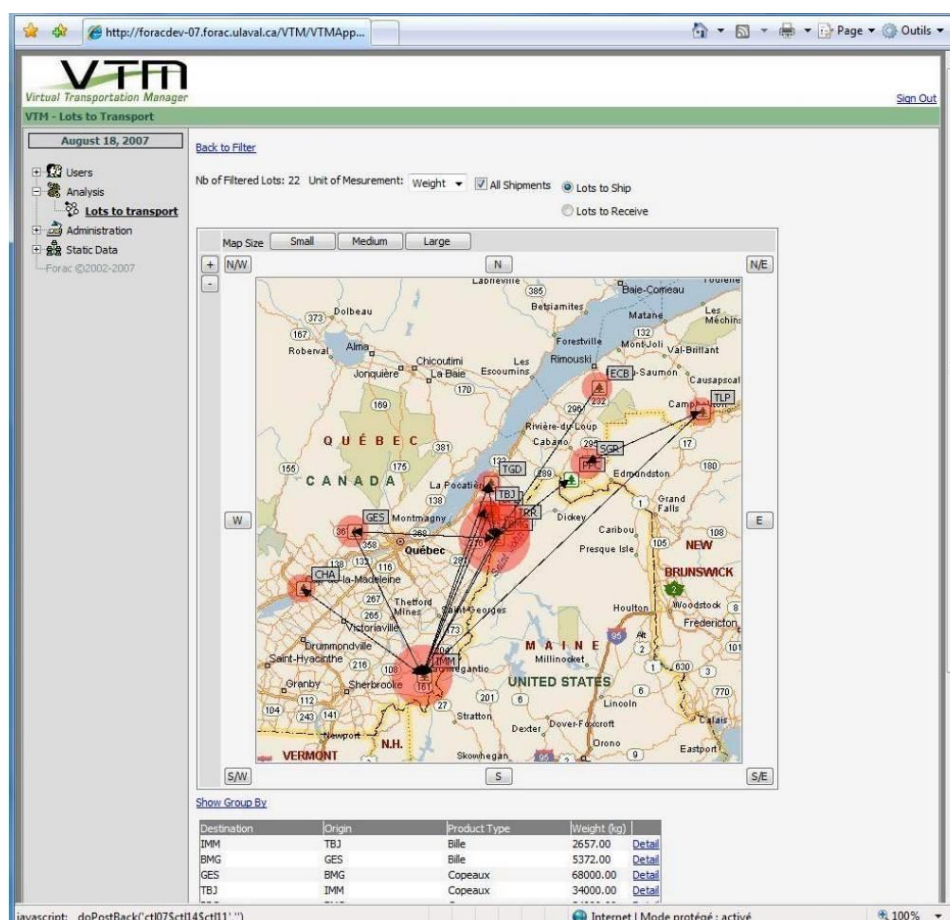


Figura 2.5 - Screenshot de uma das interfaces do VTM, onde é possível consultar informação sobre os vários pedidos de transporte ([3])

## 2.3 Síntese do estado da arte

Em síntese, percebe-se, através da revisão da literatura sobre estes dois temas, que existe ainda pouca informação sobre o planeamento colaborativo de transporte florestal, principalmente de uma forma harmonizada entre os autores, o que faz com que existam poucos casos práticos de uma colaboração eficiente, na CAF. Apesar disso, tem-se verificado, mais recentemente, a intensificação do estudo, da colaboração na CAF. Exemplo disso é a abordagem exposta em [6], onde os autores propõem um instrumento de guia, tratando-se de uma extensão dos dois estudos anteriores ([8] e [14]), para os parceiros e potenciais parceiros estabelecerem uma coligação de sucesso. A *framework* apresentada estende-se desde a criação da colaboração, à sua execução e até às alterações/atualizações que sejam necessárias durante o decorrer do tempo, incorporando os três conceitos, aqui analisados (oportunidades de colaboração, estratégia de colaboração e técnicas de colaboração). Tudo isto, incorporado num planeamento de transporte, tem como intuito tornar a CAF mais eficiente, ultrapassando as barreiras que têm dificultado a criação e a manutenção das colaborações.

## Capítulo 3

### Proposta de solução

Neste capítulo é apresentada a proposta de solução elaborada. Numa primeira fase, é definido o problema em estudo. Em seguida, é feita a caracterização da colaboração a que o modelo desenvolvido está associado, bem como apresentada e detalhada a respetiva modelação. São ainda analisados e propostos os incentivos colaborativos considerados mais interessantes e adequados ao tema em estudo. Por último, é apresentada a arquitetura do sistema, onde é especificado e decomposto nos vários subsistemas existentes.

#### 3.1 Definição do problema

Para um certo horizonte de planeamento, os centros de transformação (fábricas) estabelecem uma dada procura por cada tipo de recurso florestal (*assortment*), para um determinado período de tempo. Num ambiente de não colaboração, esta procura deve ser satisfeita através da exploração das áreas florestais pertencentes à entidade que possui a fábrica, caso existam, ou comprando os recursos diretamente no mercado de fornecedores. Já num ambiente de colaboração, entre uma ou mais entidades, que formam assim uma coligação, estas podem ainda partilhar os recursos provenientes das suas áreas florestais como também os vários tipos de serviços, entre os intervenientes da coligação.

Tendo como principal foco o ambiente colaborativo, o problema consiste em escolher qual a área florestal a ser explorada, a quantidade a produzir de cada tipo de recurso florestal e a quantidade a transportar entre cada área florestal e cada fábrica num respetivo período de tempo, de forma a satisfazer a procura. Sendo também necessário saber que entidade é responsável por cada atividade.

O planeamento de transporte tem como objetivo maximizar os lucros da cadeia de abastecimento, minimizando os custos da mesma. Para conseguir mais-valias nesta área de estudo, é ideal que todas as decisões sejam tomadas entre todos os agentes da cadeia de valor. É então assim criada uma coligação, onde os parceiros colaboram entre si, com o propósito de otimizar as atividades operacionais. No entanto, para ser uma colaboração de sucesso e assim

conseguir benefícios para todos os intervenientes, é necessário que seja uma CA colaborativa eficiente e, para isso, é essencial que haja partilha de recursos, mas também partilha de benefícios/custos, de uma forma honesta e justa, para assim conseguir garantir uma coligação estável, duradoura e benéfica para todos.

Este tipo de problema é bastante complexo, pois engloba um número elevado de variáveis, mas também diferentes objetivos. Para conseguir abordar o problema com sucesso é necessário tratar os objetivos de acordo com uma escala hierárquica, tratando assim vários aspetos separadamente (planeamento estratégico, tático e operacional).

De forma a conseguir realizar uma análise ao impacto da colaboração na CAF, é proposto e implementado uma formulação matemática (modelo matemático) do planeamento tático das atividades de transporte florestal. O planeamento de nível tático é, de uma forma geral, um planeamento para um período de tempo de um ano, mas pode ser elaborado para meses ou até para vários anos, e que geralmente integra as decisões da atividade de transporte com as decisões relacionadas com a exploração das áreas florestais. O planeamento tem de ter como objetivo maximizar os lucros da CAF, através da colaboração entre as várias entidades intervenientes. Neste planeamento têm de estar definidas as áreas florestais a serem exploradas, a quantidade de recursos florestais a explorar, em cada zona florestal, e a quantidade destes mesmos recursos que são transportados entre os vários locais, sendo sempre especificado qual a entidade responsável pela atividade, bem como o período de tempo em que tem de ser realizada.

Numa segunda fase, é essencial estudar e integrar no planeamento o(s) incentivo(s) mais adequado(s) para estimular a existência de uma colaboração mais eficiente, entre os vários agentes da CAF. Só é possível otimizar o processo de transporte, através de um planeamento colaborativo, se todos os envolvidos nesse processo tiverem algum tipo de benefício que os faça continuar a colaborar e a cooperar da melhor forma. Deste modo, é fundamental ter uma componente colaborativa forte, que defina uma estratégia de distribuição justa e equilibrada dos lucros/custos, entre os vários intervenientes na coligação, e que não só quebre, de certa forma, algumas barreiras que têm inviabilizado uma maior colaboração entre as entidades, mas que também estimule uma participação mais ativa.

Por último, é essencial elaborar a respetiva análise, aos resultados obtidos nos diferentes contextos colaborativos e à aplicação dos diferentes incentivos colaborativos.

### 3.2 Estratégia de colaboração

O modelo matemático tem como foco principal, o planeamento colaborativo do transporte entre os vários agentes da CAF. Agentes esses que formam uma coligação com uma estrutura colaborativa centralizada (Figura 3.1), isto porque os recursos são agregados e partilhados e a tomada de decisão é feita como se fosse apenas uma só entidade, ou seja, como se todos os agentes pertencentes à coligação formassem apenas uma grande entidade. Fica então assim o poder de decisão concentrado em um ou num conjunto minoritário de intervenientes ou então numa entidade externa, responsável pela supervisão e orientação da colaboração, auxiliados sempre pelo plano resultante da execução do modelo.

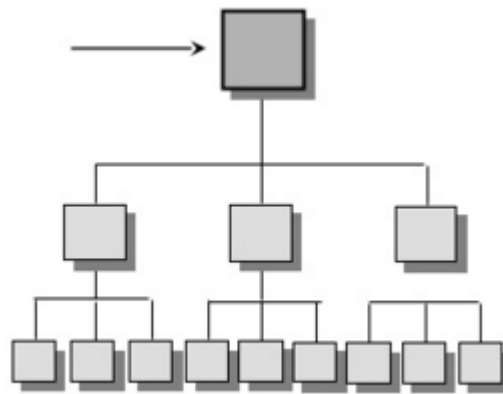


Figura 3.1 - Estrutura organizacional centralizada

Nesta colaboração, pode haver, fundamentalmente, partilha de três tipos de recursos diferentes: capacidade de transporte, capacidade de exploração e partilha dos recursos florestais explorados. A junção destes três tipos de partilha torna a colaboração mais extrema, mas por outro lado, pode proporcionar mais benefícios para a coligação e, conseqüentemente, para cada um dos parceiros. Apesar disso, existem entidades que podem não estar interessadas em partilhar os seus recursos florestais, provenientes das suas áreas florestais e, como tal, é preciso ter em consideração este fator para criar uma coligação, que consiga abranger diferentes tipos de *players* e diversas formas de colaborar.

O nível colaborativo desta coligação é classificado, na literatura, como “execução conjunta” (*joint execution*), onde os parceiros estão em total sintonia, funcionando como um só, planeando e executando as operações em conjunto. Esta colaboração criada, usa como mecanismo de coordenação, uma coordenação por planeamento, visto que as operações são planeadas previamente com o apoio do modelo.

O tipo de colaboração formada é uma combinação entre colaboração vertical e horizontal, designada na literatura como lateral, isto porque os parceiros tanto podem ser da mesma CA, quer seja a jusante ou a montante, como também podem ser de CA diferentes, concorrentes diretos ou não. Pode haver, por exemplo, partilha de capacidade de transporte entre entidades que se encontram na mesma posição, mas em diferentes CA, como por outro

lado, pode haver partilha de capacidade de exploração entre parceiros da mesma CA, mas de diferentes áreas de ação.

O modelo desenvolvido, também pode ser utilizado num ambiente não colaborativo, onde o planeamento elaborado apenas tem em conta a respetiva entidade principal a quem está a ser feito o plano, e a entidade mercado. Esta entidade principal apenas pode utilizar os seus próprios recursos e/ou subcontratar capacidade de transporte ou de exploração ao mercado, como também vender e comprar recursos florestais ao mesmo, caso assim seja necessário. É de realçar que neste ambiente não colaborativo não há qualquer tipo de partilha de recursos, ficando a entidade principal dependente de si própria.

A utilização desta modulação, em ambiente colaborativo, pode trazer vários benefícios que de forma individual cada entidade, não conseguiria obter. A redução de custos de transporte ou de exploração/compra de madeira é o aspeto mais evidente e com mais impacto nos resultados finais. Também o aumento da capacidade de utilização dos recursos ou a existência de maior flexibilidade ou ainda a existência de uma coordenação melhor e mais robusta, são tudo fatores que de uma forma direta ou indireta, tornam a CA muito mais eficiente.

De forma a sintetizar a informação sobre a colaboração, é apresentado na Tabela 3.1 as várias características da mesma.

Tabela 3.1 - Características colaborativas

<b>Características da Colaboração</b>		
<b>Estratégia de Colaboração</b>	<b>Tipo de Colaboração:</b>	Lateral
	<b>Parceiros da Colaboração:</b>	Fornecedores, produtores e transportadores da CAF
	<b>Benefícios:</b>	Maior lucro/menores custos
	<b>Recursos Partilhados:</b>	Capacidade de transporte, capacidade de exploração e/ou partilha de recursos florestais
	<b>Nível de Colaboração:</b>	Execução conjunta ( <i>Joint execution</i> )
	<b>Estrutura da Coligação:</b>	Centralizada
	<b>Mecanismos de Coordenação:</b>	Coordenação por planeamento
<b>Técnicas de Colaboração</b>	<b>Modelos e Métodos IO:</b>	Modelo MIP ( <i>mixed integer programming</i> )



### 3.3 Modelo matemático para planeamento tático de transporte

O modelo MIP (*mixed integer programming*) desenvolvido tem como intuito maximizar os lucros da CAF tendo um horizonte de planeamento  $T$ , estando dividido em intervalos  $t$  de igual e fixa duração ( $t \in T$ ).

#### Áreas florestais

As áreas florestais estão geograficamente distribuídas numa vizinhança não muito distante das fábricas, onde é assumido que apenas têm uma espécie florestal (igual em todas), que neste caso é o eucalipto. A exploração das áreas florestais pode resultar num conjunto de vários tipos de recursos florestais (*assortments*) que variam de acordo com o tamanho e as características da madeira solicitada pela fábrica, por exemplo rolaria a 2m com casca, rolaria a 4m com casca, rolaria a 2m sem casca.

O modelo assume que uma área florestal só pode ser explorada uma única vez, e que tem de ser explorada na sua totalidade, durante um único período  $t$  e sempre pela mesma entidade (*player*).

#### Transporte

Depois da atividade de exploração, os serviços de transporte têm de garantir que a procura nas fábricas, em cada período  $t$ , é satisfeita. Para isso, têm de ser considerados os recursos provenientes da exploração de cada área, como também a compra direta no mercado de fornecedores. Compra essa que em condições normais, terá um custo superior do que explorar os próprios recursos florestais, isto porque este custo já tem em conta a percentagem de lucro para a entidade mercado. Como tal, esta situação deve apenas surgir caso não existam recursos disponíveis nas áreas florestais, ou se a sua exploração seja inviável. A seleção da fábrica destino depende do *trade-off* entre os custos de transporte e a receita dos recursos florestais na fábrica, mas também da procura que é necessário satisfazer.

#### Fábricas

O modelo assume que as fábricas têm o planeamento de produção definido para todo o período  $T$ , em que o modelo vai atuar. Neste planeamento é especificado a procura por cada tipo de recurso florestal que é necessária para cada período de tempo  $t$  ( $t \in T$ ), que pode variar ao longo do horizonte de planeamento.

#### Entidades/Agentes do sistema colaborativo

Uma entidade ou agente colaborativo é um *player*/empresa que pode, ou não, ter fábricas e áreas florestais. A entidade pode também possuir, ou não, capacidade de exploração florestal ou capacidade de transporte, dependendo da sua posição na CA. Associados a estas capacidades vêm custos, quer seja de exploração ou de transporte, que dependem da entidade

em si, como por exemplo, no caso dos custos de transporte, estes dependem do tipo de frota de veículos que esta possui e dos seus respetivos custos por quilómetro (€/km) (a frota é considerada sempre homogénea dentro de cada entidade). Como tal, o modelo assume que os custos são relacionados e dependentes da entidade. É assumido também uma velocidade média para os veículos de transporte e um período de tempo de circulação mensal e diária, para assim conseguir estimar a capacidade máxima de transporte mensal de cada entidade.

O mercado é aqui considerado como uma entidade, pois é ao mesmo tempo um ponto de fornecimento, mas também de procura. É uma entidade que não pode integrar uma coligação, e que possui uma capacidade de absorver e de fornecer recursos florestais sempre elevada.

O modelo considera que todas as entidades (com exceção do mercado) que integram o conjunto de *inputs*, são pré-selecionadas e têm como intuito pertencer a uma coligação e colaborar ativamente, para contribuir para o sucesso da colaboração e, consequentemente, adquirir mais-valias para si.

A modelação desenvolvida tem em consideração três diferentes tipos de entidades: entidades “comunitárias”, entidades “independentes” e entidades mercado. A divisão dos *players* em “comunitários” e “independentes” deve-se ao facto de se querer trazer maior flexibilidade ao modelo, e não o limitar a uma colaboração extrema, onde tudo tem de ser partilhado. Deste modo as entidades “comunitárias” estão na disposição de partilhar a capacidade de transporte, capacidade de exploração e ainda partilhar recursos florestais explorados das suas zonas florestais. Por outro lado, as entidades “independentes” têm o mesmo comportamento do que as “comunitárias”, menos no que concerne à partilha de recursos florestais, neste caso, este tipo de parceiros opta por não os partilhar, com os parceiros, tornando-se assim independentes no que a esta temática diz respeito.

### 3.3.1 Formulação matemática

#### Conjuntos

- $E$  Conjunto de entidades (inclui todos os tipos de entidades,  $E = E^C \cup E^I \cup E^M$  )
- $E^C$  Subconjunto de entidades “comunitárias” (não têm qualquer tipo de restrição em relação à partilha de qualquer tipo de recurso)
- $E^I$  Subconjunto de entidades “independentes” (são independentes em relação à partilha de recursos florestais, ou seja, não partilham este tipo de recursos com qualquer outra entidade)
- $E^M$  Subconjunto de entidades mercado

- $I$  Conjunto de áreas florestais (pontos de fornecimento)
- $I_e$  Conjunto de áreas florestais pertencentes à entidade  $e$  ( $e \in E \setminus E^M$ )
- $J$  Conjunto de fábricas (pontos de procura)
- $J_e$  Conjunto de fábricas pertencentes à entidade  $e$  ( $e \in E \setminus E^M$ )
- $M$  Conjunto de mercados (pontos de fornecimento e de procura)
- $K$  Conjunto de recursos florestais (*assortments*)
- $T$  Conjunto de períodos ( $T = \{1 \dots, |T|\}$ )

### Parâmetros

- $h_{et}^{max}$  Capacidade máxima de exploração, das áreas florestais, no período  $t \in T$ , pela entidade  $e \in E$  (ton);
- $b_e$  Capacidade de carga de um veículo pertencente à frota da entidade  $e \in E$  (ton);
- $t_{te}^{max}$  Capacidade máxima de transporte, da entidade  $e \in E$ , no período  $t \in T$  (km)
- $c_{kite}^H$  Custo unitário de exploração do recurso  $k \in K$ , na área florestal  $i \in I$  no período  $t \in T$ , pela entidade  $e \in E$  (€/ton);
- $c_{kmt}^m$  Custo unitário da compra do recurso  $k \in K$ , no mercado  $m \in M$  no período  $t \in T$  (€/ton);
- $c_e^T$  Custo unitário de transporte pela entidade  $e \in E$  (€/km);
- $a_{it}$  Quantidade disponível na área florestal  $i \in I$  no período  $t \in T$  (ton);
- $d_{kjt}$  Procura pelo recurso do tipo  $k \in K$  na fábrica  $j \in J$  no período  $t \in T$  (ton);
- $e_{kjt}$  Receita, por tonelada, do recurso  $k \in K$  entregue na fábrica  $j \in J$  no período  $t \in T$  (€/ton);
- $e_{kmt}^m$  Preço, por tonelada, do recurso  $k \in K$  vendido ao mercado  $m \in M$  no período  $t \in T$  (€/ton);
- $l_{ij}$  Distância entre a área florestal  $i \in I$  e a fábrica  $j \in J$  (km);

$l_{im}^{im}$	Distância entre a área florestal $i \in I$ e o mercado $m \in M$ (km);
$l_{mj}^{om}$	Distância entre o mercado $m \in M$ e a fábrica $j \in J$ (km);
$\Delta t^{max}$	Desvio máximo permitido da quantidade total de quilómetros realizados por cada entidade da colaboração, no horizonte de planeamento;
$\Delta h^{max}$	Desvio máximo permitido no número total de áreas florestais exploradas por cada entidade da colaboração.

### Variáveis de decisão

$x_{ite}$	$\begin{cases} 1, \text{ se a área florestal } i \in I \text{ for explorada no período } t \in T, \text{ pela entidade } e \in E \\ 0, \text{ caso contrário} \end{cases}$
$v_{kite}$	Quantidade de recurso $k \in K$ explorado na área florestal $i \in I$ no período $t \in T$ , pela entidade $e \in E$ (ton);
$f_{kijte}$	Quantidade de recurso $k \in K$ transportada da área florestal $i \in I$ para a fábrica $j \in J$ no período $t \in T$ , pela entidade $e \in E$ (ton);
$f_{kimte}^{im}$	Quantidade de recurso $k \in K$ transportada da área florestal $i \in I$ para o mercado $m \in M$ no período $t \in T$ , pela entidade $e \in E$ (ton);
$f_{kmjte}^{om}$	Quantidade de recurso $k \in K$ transportada do mercado $m \in M$ para a fábrica $j \in J$ no período $t \in T$ , pela entidade $e \in E$ (ton);
$n_{ijte}$	Número de viagens (ida e volta) entre a área florestal $i \in I$ e a fábrica $j \in J$ no período $t \in T$ , realizadas pela entidade $e \in E$ ;
$n_{imte}^{im}$	Número de viagens (ida e volta) entre a área florestal $i \in I$ e o mercado $m \in M$ no período $t \in T$ , realizadas pela entidade $e \in E$ ;
$n_{mjte}^{om}$	Número de viagens (ida e volta) entre o mercado $m \in M$ e a fábrica $j \in J$ no período $t \in T$ , realizadas pela entidade $e \in E$ .

**Função objetivo:** maximizar lucro = (receitas - custos)

$$\max \sum_{t \in T} \left( \sum_{j \in J_{EC}} \sum_{k \in K} \left( e_{kjt} \sum_{e \in E} \sum_{i \in I_{EC}} f_{kijte} \right) + \sum_{h \in E^I} \sum_{j \in J_h} \sum_{k \in K} \left( e_{kjt} \sum_{e \in E} \sum_{i \in I_h} f_{kijte} \right) \right) \quad (3.1)$$

$$+ \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \left( e_{kjt} \sum_{e \in E} \sum_{m \in M} f_{kmjte}^{om} \right) \quad (3.2)$$

$$+ \sum_{m \in M} \sum_{k \in K} \left( e_{kmt}^m \sum_{e \in E} \sum_{i \in I} f_{kimte}^{im} \right) \quad (3.3)$$

$$- \sum_{e \in E} \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} (c_{kite}^H v_{kite}) - \sum_{m \in M} \sum_{k \in K} \left( c_{kmt}^m \sum_{e \in E} \sum_{j \in J} f_{kmjte}^{om} \right) \quad (3.4)$$

$$- \sum_{e \in E} \left( 2 \times c_e^T \left( \sum_{i \in I_{EC}} \sum_{j \in J_{EC}} n_{ijte} l_{ij} + \sum_{h \in E^I} \sum_{i \in I_h} \sum_{j \in J_h} n_{ijte} l_{ij} \right) \right) \quad (3.5)$$

$$- \sum_{e \in E} \left( 2 \times c_e^T \sum_{i \in I} \sum_{m \in M} n_{imte}^{im} l_{im}^{im} \right) \quad (3.6)$$

$$- \sum_{e \in E} \left( 2 \times c_e^T \sum_{j \in J} \sum_{m \in M} n_{mjte}^{om} l_{mj}^{om} \right) \quad (3.7)$$

**Restrições gerais**

$$\sum_{e \in E} \sum_{t \in T} x_{ite} \leq 1 \quad \forall i \in I \quad (3.8)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{k \in K} v_{kite} \leq h_{et}^{max} \quad \forall t \in T; e \in E \quad (3.9)$$

$$\sum_{k \in K} v_{kite} = a_{it} x_{ite} \quad \forall i \in I; t \in T; e \in E \quad (3.10)$$

$$n_{imte}^{im} \geq \frac{\sum_{k \in K} f_{kimte}^{im}}{b_e} \quad \forall i \in I; m \in M; t \in T; e \in E \quad (3.11)$$

$$n_{mjte}^{om} \geq \frac{\sum_{k \in K} f_{kmjte}^{om}}{b_e} \quad \forall m \in M; j \in J; t \in T; e \in E \quad (3.12)$$

$$\begin{aligned}
& \sum_{i \in I_{EC}} \sum_{j \in J_{EC}} (n_{ijte} l_{ij}) + \sum_{i \in I_{e_1}} \sum_{j \in J_{e_1}} (n_{ijte} l_{ij}) \\
& + \sum_{i \in I} \sum_{m \in M} (n_{imte}^{im} l_{im}^{im}) \\
& + \sum_{m \in M} \sum_{j \in J} (n_{mjte}^{om} l_{mj}^{om}) \leq \frac{t_{te}^{max}}{2} \\
& \forall t \in T; e \in E: e_1 \in E' \quad (3.13)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \left| \sum_{t \in T} \left( \sum_{i \in I_{EC}} \sum_{j \in J_{EC}} (n_{ijte} l_{ij}) + \sum_{i \in I_{e_1}} \sum_{j \in J_{e_1}} (n_{ijte} l_{ij}) \right. \right. \\
& + \sum_{i \in I} \sum_{m \in M} (n_{imte}^{im} l_{im}^{im}) \\
& + \left. \sum_{m \in M} \sum_{j \in J} (n_{mjte}^{om} l_{mj}^{om}) \right) \\
& - \sum_{t \in T} \left( \sum_{i \in I_{EC}} \sum_{j \in J_{EC}} (n_{ijte'} l_{ij}) \right. \\
& + \sum_{i \in I_{e_1}} \sum_{j \in J_{e_1}} (n_{ijte'} l_{ij}) \\
& + \sum_{i \in I} \sum_{m \in M} (n_{imte'}^{im} l_{im}^{im}) \\
& + \left. \sum_{m \in M} \sum_{j \in J} (n_{mjte'}^{om} l_{mj}^{om}) \right) \Bigg| \leq \frac{\Delta t_{te}^{max}}{2} \\
& \forall e, e' \in E \setminus E^M: e \neq e', e_1 \in E' \quad (3.14)
\end{aligned}$$

$$\left| \sum_{t \in T} \sum_{i \in I} x_{ite} - \sum_{t \in T} \sum_{i \in I} x_{ite'} \right| \leq \Delta h^{max} \quad \forall e, e' \in E \setminus E^M: e \neq e' \quad (3.15)$$

$$x_{ite} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I; t \in T; e \in E \quad (3.16)$$

$$\begin{aligned}
& v_{kite}, f_{kijte}, f_{kimte}^{im}, f_{kmjte}^{om}, \\
& n_{ijte}, n_{imte}^{im}, n_{mjte}^{om} \geq 0 \\
& \forall k \in K; j \in J; i \in I; t \in T, e \in E \quad (3.17)
\end{aligned}$$

### Restrições para entidades “comunitárias”

$$\sum_{e \in E} \sum_{i \in I_{EC}} f_{kijte} + \sum_{e \in E} \sum_{m \in M} f_{kmjte}^{om} = d_{kjt} \quad \forall k \in K; j \in J_{EC}; t \in T \quad (3.18a)$$

$$\sum_{e \in E} v_{kite} = \sum_{e \in E} \sum_{j \in J_{EC}} f_{kijte} + \sum_{e \in E} \sum_{m \in M} f_{kimte}^{im} \quad \forall k \in K; i \in I_{EC}; t \in T \quad (3.19a)$$

$$n_{ijte} \geq \frac{\sum_{k \in K} f_{kijte}}{b_e} \quad \forall i \in I_{Ec}; j \in J_{Ec}; t \in T; e \in E \quad (3.20a)$$

#### Restrições entidades “independentes”

$$\sum_{e \in E} \sum_{i \in I_{e1}} f_{kijte} + \sum_{e \in E} \sum_{m \in M} f_{kmjte}^{om} = d_{kjt} \quad \forall k \in K; j \in J_{e1}; e_1 \in E^I; t \in T \quad (3.18b)$$

$$\sum_{e \in E} v_{kite} = \sum_{e \in E} \sum_{j \in J_{e1}} f_{kijte} + \sum_{e \in E} \sum_{m \in M} f_{kimte}^{im} \quad \forall k \in K; i \in I_{e1}; e_1 \in E^I; t \in T \quad (3.19b)$$

$$n_{ijte} \geq \frac{\sum_{k \in K} f_{kijte}}{b_e} \quad \forall i \in I_{e1}, j \in J_{e1}; e_1 \in E^I \quad (3.20b)$$

$$t \in T; e \in E$$

A função objetivo tem como propósito maximizar os lucros decorrentes da exploração e transporte da madeira para as fábricas e/ou mercado. O modelo tem em consideração as receitas nas fábricas, sendo calculadas através da multiplicação da receita unitária pela quantidade de recursos florestais, recebidos em cada fábricas (estando dividido em fábricas pertencentes às entidades “comunitárias” e “independentes”), provenientes das áreas florestais (3.1) e/ou comprados diretamente ao mercado (m - *market*) (3.2). Outra fonte de receita resulta da venda de recursos florestais ao mercado (3.3). Por outro lado, a função objetivo também contém custos, como os de exploração e os relativos à compra de recursos florestais às entidades mercado (3.4). Outro tipo de custos, também considerados, são os resultantes das atividades de transporte e, podem ser divididos em três, de diferentes variantes: custos de transporte entre as áreas florestais e as fábricas (3.5), custos provenientes do transporte entre as zonas florestais e o mercado (im - *in-market*) (3.6) e, ainda, entre o mercado e as fábricas (om - *out-market*) (3.7). Cada um destes fatores ((3.5),(3.6) e (3.7)), é multiplicado por 2, devido ao facto de uma viagem ser considerada ida e volta e como as variáveis correspondentes às distâncias ( $l_{ij}$ ,  $l_{im}^{im}$  e  $l_{mj}^{om}$ ) expressam apenas a distância entre os dois locais (ida ou volta), torna-se necessário duplicar para o seu dobro para obter a distância associada a uma viagem (ida e volta).

Para uma análise mais detalhada à finalidade e função de cada restrição do modelo, é apresentado, em seguida, cada uma delas individualmente. Numa primeira fase, são apresentadas as restrições gerais, i.e., restrições que são aplicadas a qualquer tipo de entidade interveniente:

**(3.8)** - Define que as áreas florestais só podem ser exploradas uma única vez, por uma só entidade, durante o horizonte de planeamento.

**(3.9)** - Indica que a quantidade de recursos florestais explorados, nas áreas florestais, tem de ser igual ou inferior à capacidade máxima de exploração da entidade responsável pela

exploração, desse período.

**(3.10)** - Assegura que a soma das quantidades de cada tipo de recurso florestal (*assortement*) explorado, tem de ser igual à quantidade total disponível na área florestal e, que ao ser explorada, tem de ser na sua totalidade.

**(3.11 e 3.12)** - Representa o número de viagens efetuadas por cada entidade, em cada período de tempo, respetivamente, entre as áreas florestais e o(s) mercado(s) e entre o(s) mercado(s) e as fábricas. Tem de garantir que todos os recursos florestais necessários são transportados e, como tal, é sempre superior ou igual à quantidade de recursos florestais a transportar para esse local a dividir pela capacidade de carga do veículo, pertencente à frota homogénea dessa entidade.

**(3.13)** - Indica que cada entidade não pode ultrapassar a sua capacidade máxima de transporte, em cada período. Todos os quilómetros realizados por cada entidade têm de ser menor ou igual à capacidade de transporte da mesma. A razão da capacidade máxima de transporte aparecer a ser dividida por 2, deve-se ao facto de uma viagem representar a ida e volta, ao local de origem, e como as distâncias apresentadas apenas dizem respeito à distância entre os locais, tem de ser multiplicada por 2.

**(3.14)** - Faz o balanceamento da utilização dos veículos de transporte, por cada entidade da coligação. Fazendo assim com que haja um maior equilíbrio entre os quilómetros totais percorridos por cada entidade, no horizonte de planeamento, nunca ultrapassando o desvio máximo determinado. Devido à não linearidade da restrição, imposta pelo módulo, esta pode ser reformulada e dividida em duas:

$$\begin{aligned}
 & \sum_{t \in T} \left( \sum_{i \in I_{EC}} \sum_{j \in J_{EC}} (n_{ijte} l_{ij}) + \sum_{i \in I_{e_1}} \sum_{j \in J_{e_1}} (n_{ijte} l_{ij}) + \sum_{i \in I} \sum_{m \in M} (n_{imte}^{im} l_{im}^{im}) \right. \\
 & \quad \left. + \sum_{m \in M} \sum_{j \in J} (n_{mjte}^{om} l_{mj}^{om}) \right) \\
 & - \sum_{t \in T} \left( \sum_{i \in I_{EC}} \sum_{j \in J_{EC}} (n_{ijte'} l_{ij}) + \sum_{i \in I_{e_1}} \sum_{j \in J_{e_1}} (n_{ijte'} l_{ij}) + \sum_{i \in I} \sum_{m \in M} (n_{imte'}^{im} l_{im}^{im}) \right. \\
 & \quad \left. + \sum_{m \in M} \sum_{j \in J} (n_{mjte'}^{om} l_{mj}^{om}) \right) \leq \frac{\Delta t^{max}}{2}
 \end{aligned}$$

$$\forall e, e' \in E \setminus E^M: e \neq e', e_1 \in E^I \quad (3.14a)$$



$$\begin{aligned}
& \sum_{t \in T} \left( \sum_{i \in I_{EC}} \sum_{j \in J_{EC}} (n_{ijte} l_{ij}) + \sum_{i \in I_{e_1}} \sum_{j \in J_{e_1}} (n_{ijte} l_{ij}) + \sum_{i \in I} \sum_{m \in M} (n_{imte}^{im} l_{im}^{im}) \right. \\
& \quad \left. + \sum_{m \in M} \sum_{j \in J} (n_{mjte}^{om} l_{mj}^{om}) \right) \\
& - \sum_{t \in T} \left( \sum_{i \in I_{EC}} \sum_{j \in J_{EC}} (n_{ijte'} l_{ij}) + \sum_{i \in I_{e_1}} \sum_{j \in J_{e_1}} (n_{ijte'} l_{ij}) + \sum_{i \in I} \sum_{m \in M} (n_{imte'}^{im} l_{im}^{im}) \right. \\
& \quad \left. + \sum_{m \in M} \sum_{j \in J} (n_{mjte'}^{om} l_{mj}^{om}) \right) \geq -\frac{\Delta t^{max}}{2} \\
& \quad \forall e, e' \in E \setminus E^M : e \neq e', e_1 \in E^I \quad (3.14b)
\end{aligned}$$

**(3.15)** - Realiza o balanceamento das áreas florestais totais exploradas por cada entidade, fazendo com que não haja um desvio maior do que aquele que é determinado. Cria, deste modo, um maior equilíbrio ao nível da atividade de exploração, entre todas as entidades da coligação. Devido à não linearidade da restrição, também esta pode ser reformulada da seguinte forma:

$$\sum_{t \in T} \sum_{i \in I} x_{ite} - \sum_{t \in T} \sum_{i \in I} x_{ite'} \leq \Delta h^{max} \quad \forall e, e' \in E \setminus E^M : e \neq e' \quad (3.15a)$$

$$\sum_{t \in T} \sum_{i \in I} x_{ite} - \sum_{t \in T} \sum_{i \in I} x_{ite'} \geq -\Delta h^{max} \quad \forall e, e' \in E \setminus E^M : e \neq e' \quad (3.15b)$$

Uma restrição alternativa podia ser feita, balanceando a quantidade de recursos florestais explorados por cada entidade, passando assim  $\Delta h^{max}$  a ser o desvio máximo permitido da quantidade total de recursos explorados por cada parceiro.

$$\left| \sum_{t \in T} \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} v_{kite} - \sum_{t \in T} \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} v_{kite'} \right| \leq \Delta h^{max} \quad \forall e, e' \in E \setminus M : e \neq e' \quad (3.21)$$

Dado o facto de este modelo partir do pressuposto que para explorar uma área florestal é necessário explorar na sua totalidade, considerou-se então preferível, restringir pelo número de áreas florestais a serem exploradas por entidade.

**(3.16 e 3.17)** - Apenas define as variáveis como binárias e contínuas não negativas.

Em seguida é detalhado as restrições referentes às entidades “comunitárias”:

**(3.18a)** - Garante que a procura das fábricas, de cada entidade “comunitária”, tem de ser satisfeita pelos recursos florestais, provenientes das suas áreas florestais e/ou de qualquer

outra entidade “comunitária”, como também, pode ser originária do(s) mercado(s).

**(3.19a)** - Define que todos os recursos florestais explorados, nas áreas florestais de um *player* “comunitário”, são transportados, nesse mesmo período, para as fábricas de qualquer entidade “comunitária” (incluindo a sua), ou para o(s) mercado(s).

**(3.20a)** - Representa o número de viagens efetuadas por cada entidade, em cada período de tempo, entre as áreas florestais e as fábricas, de qualquer entidade “comunitária”.

Por fim, são aprofundadas as restrições alusivas às entidades ditas “independentes”.

**(3.18b)** - Garante que a procura das fábricas, de cada entidade “independente”, tem de ser satisfeita pelos recursos florestais, provenientes das suas próprias áreas florestais ou do(s) mercado(s).

**(3.19b)** - Define que todos os recursos florestais explorados, nas áreas florestais de um *player* “independente”, são transportados, nesse mesmo período, para as suas próprias fábricas ou para o(s) mercado(s).

**(3.20b)** - Representa o número de viagens efetuadas por cada entidade, em cada período de tempo, entre as áreas florestais e as fábricas, de cada entidade “independente”.

O modelo desenvolvido pode ser executado em ambiente colaborativo ou não colaborativo. Tudo depende do número de entidades/agentes que a instância, para a qual vai ser elaborado o plano, tenha em consideração. Caso se queria elaborar um plano para uma entidade só (por exemplo, apenas para a entidade A), i.e., em ambiente não colaborativo, a instância a ser executada, apenas pode conter essa entidade (entidade A) mais a(s) entidade(s) mercado.

Tendo como foco o planeamento colaborativo, é importante realçar as restrições 14 e 15 pela forte componente colaborativa, em termos de distribuição de esforço de uma forma mais equilibrada, que introduz no modelo. Tanto o balanceamento dos quilómetros realizados pelas várias entidades, como o balanceamento do número de áreas florestais a serem exploradas pelos parceiros, fazem com que a participação de cada um dos agentes pertencentes à coligação, seja mais ativa e equilibrada. Neste caso, os parceiros determinam, entre todos, o desvio máximo permitido de quilómetros a serem realizados, entre todas as entidades, como também o desvio máximo permitido de áreas florestais a serem exploradas.

### 3.4 Incentivos colaborativos

Com o intuito de conseguir garantir mais-valias, obtidas com o plano elaborado, às entidades participantes na colaboração, é necessário assegurar uma distribuição/alocação do lucro total (podendo este ser positivo ou negativo - custo) justa e equilibrada, com o intuito de que todos os membros fiquem numa situação melhor do que se não estivessem em colaboração. Isto é, são necessários incentivos colaborativos para assim assegurar e manter uma colaboração duradoura e de sucesso.

Existem vários tipos de incentivos colaborativos, podendo estes serem feitos em forma de acordos celebrados por contrato, onde podem estar definidas algumas regras de colaboração, que podem ter, por exemplo, como objetivo, equilibrar o esforço/contribuição de cada parceiro na coligação. Um exemplo deste tipo de incentivos, que esta presente no modelo desenvolvido, são as restrições (3.14) e (3.15) onde é feito, respetivamente, o balanceamento das operações de transporte e das áreas florestais exploradas, de acordo com os parâmetros pré-estabelecidos, entre todos os parceiros da coligação.

Por outro lado, estes incentivos realizam-se, principalmente, através de métodos de alocação de lucros/custos, onde existe uma grande variedade de opções. Foram estudados e escolhidos vários métodos de distribuição, daqueles apresentados na secção 2.2.3, que alocam a cada entidade o seu respetivo lucro/custo, consoante as suas metodologias e procedimentos. Como o modelo elaborado tem em consideração a partilha de recursos florestais, entre os parceiros das coligações, torna-se também necessário haver partilha de receita. Posto isto, alguns métodos presentes na literatura foram adaptados para efetuar uma distribuição do lucro total final (*receita agregada – custos agregados*), por todos os parceiros.

Em seguida, são analisados e feitas as devidas adaptações, quando necessário, dos seguintes métodos:

- Métodos proporcionais:
  - Método “*egalitarian*”;
  - Método baseado nos lucros individuais em não colaboração;
- Método baseado no valor de *Shapley*;
- Métodos baseados nos lucros separáveis e não separáveis:
  - Alocação do lucro não separável baseado no ECM;
  - Alocação do lucro não separável baseado no ACAM;
  - Alocação do lucro não separável baseado no CGM;

Estes tipos de incentivos colaborativos devem ser analisados pelos vários parceiros, que devem chegar a um consenso sobre qual o método de alocação mais adequado à sua coligação e à sua conjuntura.

### 3.4.1 Métodos proporcionais

#### Método “egalitarian”

Este método é o mais simples, dos métodos aqui analisados, e também o mais fácil de utilizar pois a alocação dos lucros a cada participante ( $j$ ), consiste apenas na divisão do lucro total obtido ( $l(N)$ ), com o plano elaborado, pelo número de parceiros da coligação ( $n$ ).

$$y_j = \frac{l(N)}{n} \quad (3.1)$$

#### Método baseado nos lucros individuais em não colaboração

Este método é uma adaptação da metodologia presente na literatura que tem como base os “*stand alone cost*”. Neste caso em vez de se ter em consideração apenas os custos obtidos em ambiente não colaborativo, tem-se em consideração os lucros, obtidos nesse mesmo ambiente ( $l(\{j\})$ ). Alocando, da mesma forma, os lucros a cada entidade ( $y_j$ ), com base na proporção dos lucros que cada entidade obtém de forma individual (sem colaboração) ( $w_j$ ), em relação à soma total desses lucros individuais, como apresentado na (3.2) e na (3.3).

$$w_j = \frac{l(\{j\})}{\sum_{i \in N} l(\{i\})} \quad (3.2)$$

$$y_j = w_j \times l(N) \quad (3.3)$$

### 3.4.2 Método baseado no valor de Shapley

Neste método a alocação de lucro está associada à entrada de cada entidade na coligação. Esta alocação tem em consideração todas as possíveis ordens de entrada, de cada parceiro na coligação ( $N$ ), sendo alocado o respetivo lucro ( $y_j$ ) a cada participante ( $j$ ) através do calculado da média da contribuição/lucro marginal de cada entidade. Por contribuição/lucro marginal, entende-se variação do lucro final, resultante da entrada dessa entidade na coligação. Para calcular a média do lucro marginal, de cada parceiro, é necessário saber o lucro de todas as subcoligações ( $S$ ) que são possíveis de serem formadas, com os intervenientes da coligação. No caso concreto do modelo desenvolvido, para calcular o lucro final de cada subcoligação ( $l(S)$ ), basta elaborar as instâncias correspondentes a cada uma e executar o modelo, para cada subcoligação existente. O lucro alocado a cada parceiro é, então, possível de ser calculado de acordo com a seguinte equação:

$$y_j = \sum_{S \subset N: j \in S} \frac{(|S| - 1)! (|N| - |S|)!}{|N|!} (l(S) - l(S - \{j\})) \quad (3.4)$$

### 3.4.3 Métodos baseados nos lucros separáveis e não separáveis

Este método é adaptado da metodologia de alocação de custos que separa o custo em separável e não separável.

Neste caso vamos obter lucro separável e não separável. O lucro separável ( $m_j$ ) corresponde ao lucro marginal de cada entidade  $j$ , ou seja, é o aumento de lucro que resulta da entrada do participante  $j$  na coligação  $N$ , e pode ser calculado com a seguinte equação:

$$m_j = l(N) - l(N - \{j\}) \quad (3.5)$$

Já em relação ao lucro não separável ( $g(N)$ ), trata-se do lucro restante, e é calculado fazendo a diferença entre o lucro total obtido em colaboração, menos a soma dos vários lucros separáveis, como indicado na equação seguinte:

$$g(N) = l(N) - \sum_{j \in N} m_j \quad (3.6)$$

Obtendo o lucro não separável agregado, é necessário proceder à alocação do mesmo, às respetivas entidades. Para este tipo de alocação existem diversos métodos, neste caso serão utilizados três distintos, adaptados para o contexto da alocação de lucro:

- *Equal Charge Method* (ECM);
- *Alternative Cost Avoided Method* (ACAM);
- *Cost Gap Method* (CGM).

Para todos estes métodos a alocação do lucro a cada entidade  $j$  é realizada de acordo com a equação (3.7), sendo  $w_j$  a proporção da distribuição do lucro não separável associado a cada parceiro.

$$y_j = m_j + \frac{w_j}{\sum_{i \in N} w_i} g(N) \quad (3.7)$$

#### Adaptação do *Equal Charge Method* (ECM)

A utilização deste método é bastante simples, pois como o nome indica, o lucro não separável é dividido de igual forma por todos os parceiros da coligação. Para este efeito atribui-se o valor de 1 à proporção de distribuição  $w_j$  ( $w_j = 1$ ) e aplica-se em seguida a equação (3.7), ficando cada entidade com um respetivo lucro associado.

### Adaptação do *Alternative Cost Avoided Method (ACAM)*

Este método distribui os lucros não separáveis com base nos ganhos colaborativos de cada entidade, obtidos, com a alocação dos lucros separáveis, como representado na seguinte equação:

$$w_j = l(\{j\}) - m_j \quad (3.8)$$

Desta forma o método privilegia sempre as entidades que tiverem estes ganhos colaborativos iniciais mais reduzidos, em comparação com outras entidades, já com ganhos mais consideráveis.

Tendo já calculado a proporção do lucro não separável associado a cada entidade, obtém-se o lucro final de cada parceiro através da equação (3.7).

### Adaptação do *Cost Gap Method (CGM)*

O método CGM é baseado no ACAM, sendo que neste caso são consideradas todas as possíveis formações de subcoligações, com o objetivo de alocar os lucros de forma a promover a melhor situação possível para todos os parceiros.

Nesta adaptação do método CGM a alocação do lucro não separável será feita com a proporção ( $w_j$ ) apresentada na equação (3.9), onde  $S$  representa todas as subcoligações que são possíveis de serem formadas, entre todos intervenientes da coligação:

$$w_j = \max_{S: j \in S} g^l(S) \quad (3.9)$$

Esta equação é justificada com o facto de assim garantir que cada entidade fica com o lucro não separável máximo. Isto é, tem como intuito fazer com que a grande coligação ( $N$ ) proporcione lucros superiores, em comparação com as outras subcoligações. Isto, com o objetivo de evitar a possibilidade das entidades “romperem” com esta coligação e iniciarem uma colaboração entre os parceiros da subcoligação lhes ofereça melhores resultados.

Para poder calcular a proporção do lucro não separável associado a cada entidade, é necessário, numa primeira fase, calcular o lucro total ( $l(S)$ ) conseguido em cada uma das subcoligações, possíveis de serem formadas. Mais uma vez, o lucro de cada subcoligação pode ser calculado através do modelo desenvolvido, criando as instâncias correspondentes a cada uma delas.

Por último, é necessário calcular todas as diferenças de lucro ( $g^l(S)$ ), nas várias subcoligações, através da equação (3.10). A maximização das diferenças de lucro obtidas, associadas a cada entidade  $j$ , representa então a proporção do lucro não separável de cada parceiro.

$$g^l(S) = l(S) - \sum_{j \in S} m_j \quad (3.10)$$

Tendo já calculado a proporção dos lucros, associados cada entidade da coligação, facilmente se calcula o lucro alocado, às mesmas, através da equação inicial (3.7).

### 3.5 Arquitetura do sistema

O sistema é decomposto em quatro subsistemas distintos, como apresentado na Figura 3.2. Com o intuito de especificar a função de cada subsistema é apresentado o fluxograma geral do sistema. Numa primeira fase é usada a ferramenta FENCE para definir as coordenadas de cada ponto de procura e de fornecimento (fábricas, áreas florestais e mercados). Esta ferramenta é, também, utilizada para o cálculo das distâncias entre os vários locais. Em seguida, são inicializados, num ficheiro JAVA, os vários parâmetros do modelo (instância), apresentados no subcapítulo 3.3.2. Após a inicialização dos parâmetros do plano, o modelo é executado, utilizando o *software Gurobi Optimizer*, que está programado para no fim, de executar o modelo, criar, automaticamente, um ficheiro *excel* onde é apresentado o planeamento resultante (*outputs*), como exemplificado na Figura 3.3 e no Anexo A. Com os *outputs* todos detalhados, é agora possível aplicar o(s) incentivo(s) considerado(s) mais adequado(s), para alocar o lucro total obtido. Em alguns métodos de alocação de lucro, é necessário, por exemplo, calcular o lucro marginal de cada entidade participante ( $l(S) - l(S - \{j\})$ ). Para este tipo de cálculos pode ser preciso parametrizar novamente o modelo, alterando a instância inicial, de forma a conseguir saber o lucro planeado nas subcoligações necessárias ( $l(S - \{j\})$ ).

Esta modelação proposta foi implementada utilizando a linguagem de programação JAVA, juntamente com o software de otimização *Gurobi Optimizer* (versão 6.0.5). Os testes computacionais foram realizados num computador com processador Intel(R) i7 4700HQ de 2.4 GHz, 8GB de memória RAM e o sistema operacional utilizado foi o Windows 10.

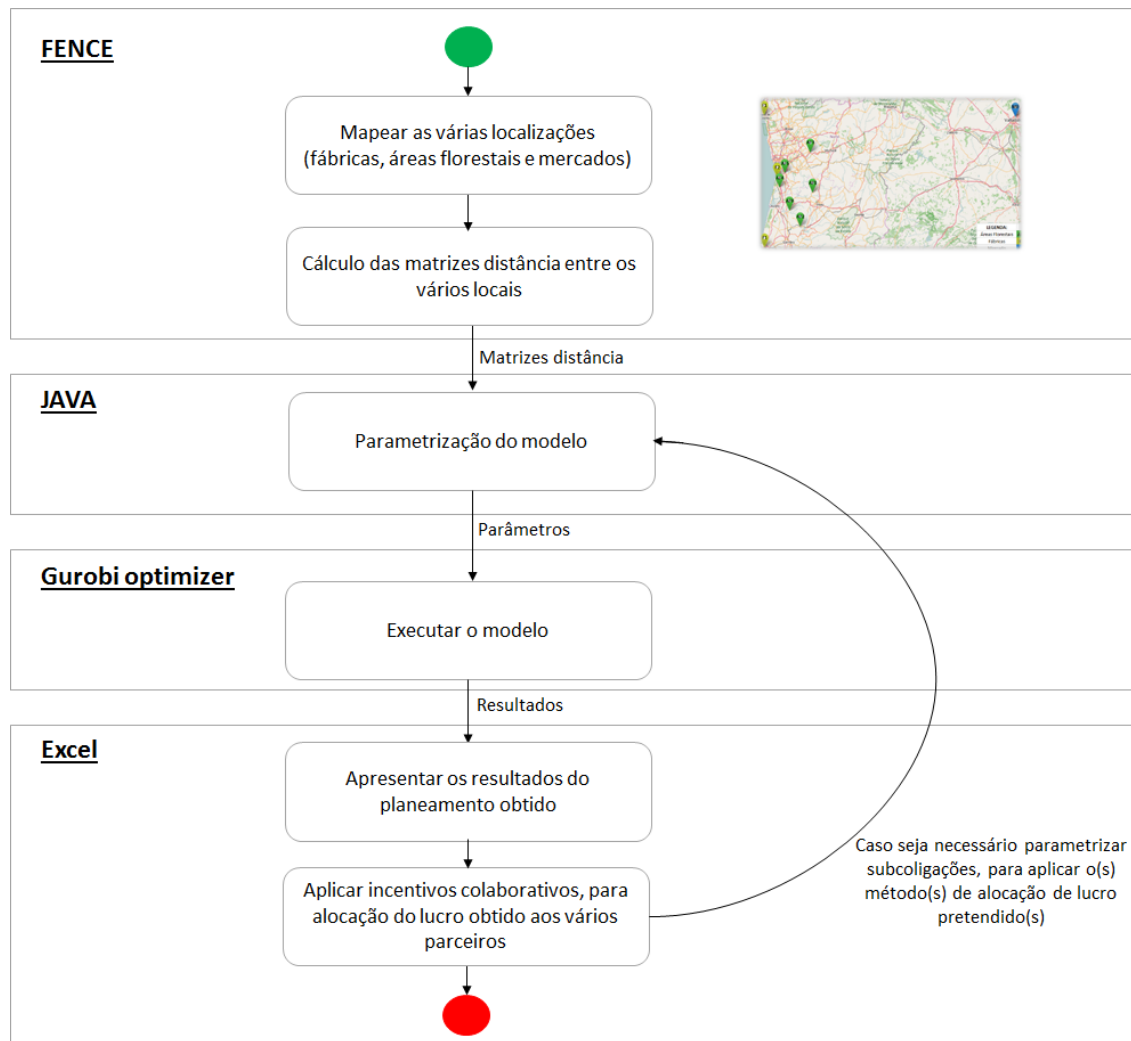


Figura 3.2 - Fluxograma do sistema

	A	B	C	D	E	F	G
1	Receita nas Fábricas	Receita no Mercado	Custos de Exploração	Custos de compra ao Mercado	Custo de Transporte AF-Fábrica	Custo de Transporte AF-Mercado	Custo de Transporte Mercado-Fábrica
2	3092460	846160	-585000	-1003104	-24445,03158	-88855,96861	-108720,3295
3							
4	Receita Total	Custo Total	Lucro				
5	3938620	-1810125,33	2128494,67				
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							

Fábrica 0 recebido do mercado    Fábrica 1 recebido do mercado    Fábrica 2 recebido do mercado    Mercado 0 recebido das AF's    **Receita e Custos**

Figura 3.3 - Spreadsheet exemplo, com as receitas e custos do plano obtido



### 3.5.1 Sistema de apoio à decisão

Um sistema de apoio à decisão que integrasse os vários subsistemas propostos seria a ferramenta ideal para os agentes pertencentes à CAF elaborarem um planeamento colaborativo de transporte.

Num contexto colaborativo, os DSS são ainda pouco abordados na literatura, mas este tipo de ferramentas são uma grande mais-valia num planeamento conjunto, entre diversos agentes.

Neste contexto específico e tendo em conta o modelo desenvolvido, um DSS que incorporasse o sistema proposto deve disponibilizar ao utilizador vários tipos de funcionalidades, tais como as enumeradas em seguida e as presentes, com maior detalhe, nos casos de uso da Figura 3.4:

- suporte para negociações com os parceiros;
- tratamento de informação proveniente de diferentes agentes;
- previsão de vendas e de ordens de compra;
- parametrização do planeamento;
- apresentação detalhada do plano resultante:
  - informação sobre cada área florestal a ser explorada, em cada período de tempo;
  - quantidade de recursos florestais a explorar, em cada período de tempo;
  - quantidade de recursos a transportar, entre os vários locais, em cada período de tempo;
  - número de viagens a serem realizadas por cada agente;
- capacidade de aplicar diferentes tipos de incentivos colaborativos.

Estas funcionalidades variam muito conforme o propósito principal da ferramenta. Depende muito do tipo de agente da CA que a vai utilizar, pois as várias entidades, integrantes na colaboração, podem ter diferentes áreas de operação, logo vão ter diferentes objetivos, que se refletem nas funcionalizações requeridas no DSS. Por esta razão, a interface poderá ter vários tipos de acessos, havendo restrição por tipo de utilizador. Resultando em sistemas de apoio à decisão orientados especificamente para cada usuário.

Todas estas aplicações, que um DSS, pode proporcionar tem como finalidade comum ajudar no planeamento de problemas de transporte complexos mas também na partilha e no processamento de grandes volumes de informação, tornando assim a colaboração, entre os agentes, mais transparente e eficiente.

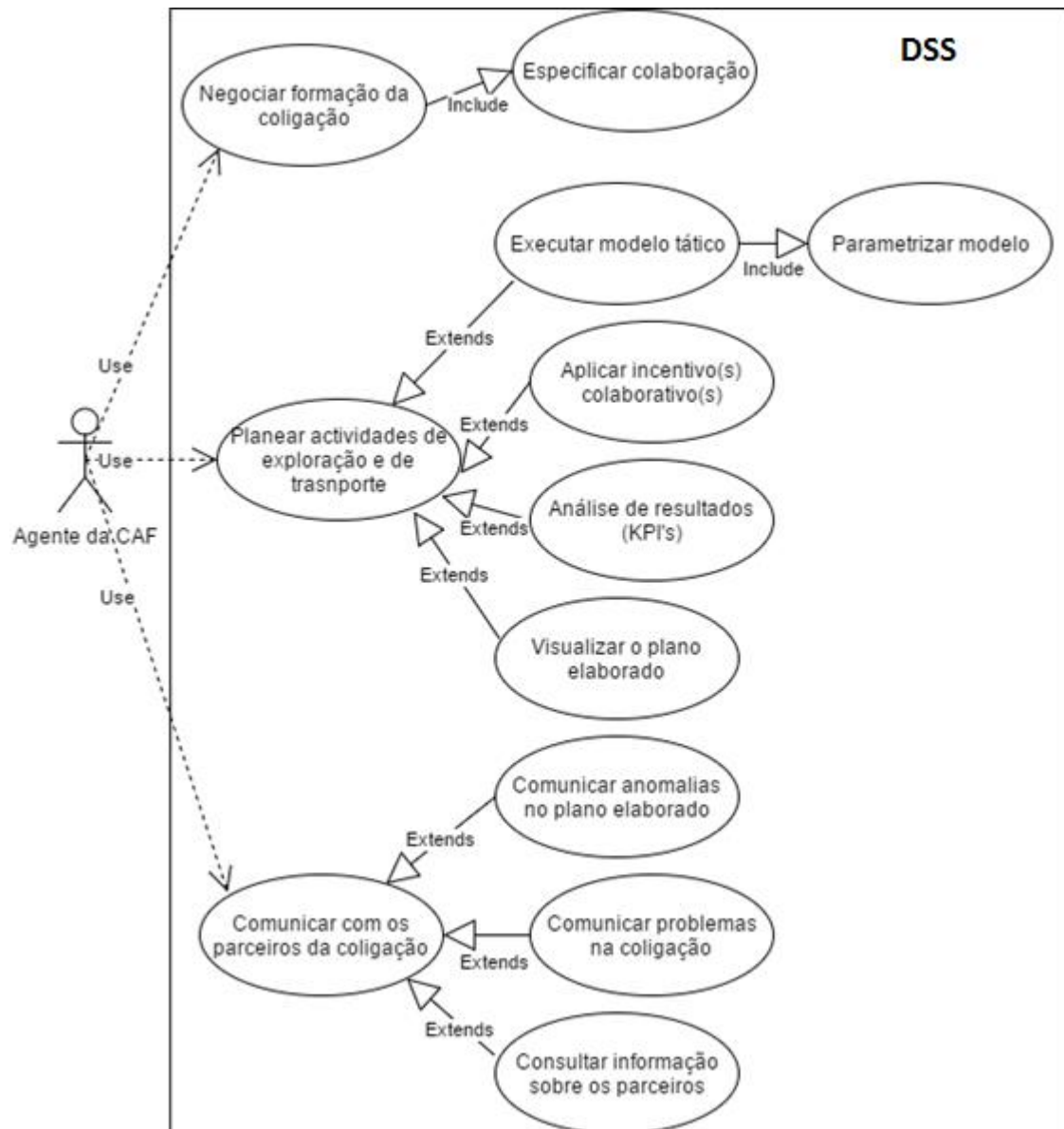


Figura 3.4 - Casos de uso de um sistema de apoio à decisão (DSS) para planeamento colaborativo de transportes

## Capítulo 4

### Aplicação num caso de estudo

Este capítulo apresenta um caso de estudo de planeamento de transportes, adaptado do caso piloto 3, do projeto FOCUS, na Áustria. A abordagem proposta é aplicada ao caso de estudo apresentado, e são analisados os respetivos resultados do modelo, considerando os seguintes contextos: contexto não colaborativo, contexto colaborativo base (sem qualquer tipo de balanceamento de atividades), contexto colaborativo base excluindo a partilha de recursos florestais entre as entidades da coligação e contexto colaborativo base com balanceamento das atividades de exploração e de transporte.

Nesta secção são ainda aplicados todos os incentivos colaborativos escolhidos, como sendo os mais adequados e interessantes, para o estudo da distribuição do lucro total obtido pela coligação, pelos vários parceiros.

#### 4.1 Descrição do caso de estudo

O caso de estudo é composto por três entidades (A, B, C) cada uma possuindo duas áreas florestais e uma unidade fabril, como é possível ver no mapa apresentado na Figura 4.1, desenhado com a ferramenta FENCE, desenvolvida pelo INESC TEC, no âmbito do projeto FOCUS. Cada uma destas entidades representa uma empresa de produção de pasta de papel, que atua na mesma zona geográfica (zona norte de Portugal continental). A acrescentar a estas três entidades, existe ainda uma entidade mercado (M) que se encontra situada em Espanha, mais precisamente em Valladolid (Figura 4.1). As entidades A, B e C podem fazer o planeamento da exploração das áreas florestais do transporte e das compras ao mercado, de forma autónoma - sem colaboração - ou de forma colaborativa.

## Rede de distribuição

Na Tabela 4.1 é apresentado, de uma forma mais detalhada, informação sobre a posição geográfica de cada um dos locais (fictícios) do mapa da instância, bem como a associação entre as entidades/agentes e, as respetivas áreas florestais (AF) e as fábricas (F) que lhe pertencem.



Figura 4.1 - Mapa da instância

Tabela 4.1 - Informação sobre os pontos geográficos do mapa

Entidade	Nome	Tipo	Coordenadas X	Coordenadas Y	Localização
A	AF0	Fornecedor	40 583 239	-8 419 186	(Águeda)
B	AF1	Fornecedor	40.795409	-8 041 362	(Arouca)
C	AF2	Fornecedor	40.398744	-8 246 276	(Mortágua)
A	AF3	Fornecedor	41 269 311	-8 080 038	(Amarante)
B	AF4	Fornecedor	40.858706	-8 583 336	(Ovar)
C	AF5	Fornecedor	41.029829	-8.496458	(Porto)
B	F0	Produtor	41 708 620	-8 837 346	(Viana Castelo)
C	F1	Produtor	40 146 129	-8 830 497	(Figueira da Foz)
A	F2	Produtor	40.984898	-8.6219578	(Espinho)
Mercado_0	M0	Fornecedor/Produtor	41.689322	-4.70214843	(Valladolid)

Apenas os arcos de transporte representativos do fluxo, desde as áreas florestais para as fábricas, das áreas florestais para o mercado, assim como, desde o mercado para as fábricas, é que são válidos, tal como apresentado na Figura 4.2. As distâncias (em quilómetros), entre os vários locais, são apresentadas na Tabela 4.2.

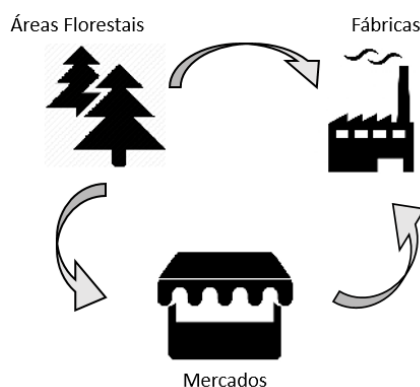


Figura 4.2 - Representação dos arcos de transporte válidos

Tabela 4.2 - Distâncias

	F0	F1	F2	AF0	AF1	AF2	AF3	AF4	AF5	M0
AF0	85,72	50,67	38,01	0,00	-	-	-	-	-	206,79
AF1	106,33	77,49	58,63	-	0,00	-	-	-	-	193,34
AF2	109,28	60,67	61,89	-	-	0,00	-	-	-	205,08
AF3	73,50	99,22	45,55	-	-	-	0,00	-	-	192,45
AF4	63,86	55,44	13,49	-	-	-	-	0,00	-	218,85
AF5	56,18	66,17	12,50	-	-	-	-	-	0,00	223,58
M0	262,37	245,08	226,22	209,48	194,27	207,64	193,88	220,20	223,23	0,00

## Entidades

Todas as entidades têm capacidade de exploração e de transporte, mas cada uma tem características distintas, que se encontram detalhadas na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Informação sobre as entidades

Entidade	Custo de exploração (€/ton)	Cap. máxima de exploração mensal (ton)	Custo de transporte (€/km/veículo)	Cap. máxima de transporte (km/mês)	Nº veículos	Carga por veículo (ton)
A	10	30000	0,2	220000	25	25
B	11	35000	0,18	176000	20	25
C	12	40000	0,19	193600	22	25
Mercado_0	16,2	-	0,27	-	-	25

A capacidade máxima de transporte mensal (km/mês) foi calculada partindo do pressuposto que, cada entidade tem a sua frota de veículos homogénea, cada veículo desloca-se com uma velocidade média de 50 km/h, cada veículo pode ter até 22 dias de circulação mensal e 8 horas diárias, resultando em 8800 km/mês/veículo ( $50 \times 22 \times 8$ ).

No que diz respeito à entidade mercado, assume-se que tem uma capacidade máxima de exploração mensal, uma capacidade máxima de transporte e, um número de veículos bastante grande, tornando-se para esta instância, de certa forma, ilimitada, conseguindo assim responder a qualquer tipo de solicitação (absorver ou fornecer), caso seja necessário.

## Custos

Tanto o custo de exploração como o custo de transporte, variam conforme a entidade, isto devido ao tipo de equipamento usado e/ou ao custo de mão-de-obra que cada entidade possui, o que vai fazer variar os seus custos. Em relação ao custo de exploração, este também está dependente do tipo de área florestal a ser explorada, e o modelo tem em consideração este aspeto, pois diferentes tipos de terrenos estão associados a diferentes custos. Mas com o intuito de simplificar a instância, apenas será considerado a variação de custos entre entidades e não entre as várias zonas florestais, sendo então o custo de exploração, associado a cada entidade, igual para todas as áreas florestais exploradas por essa entidade.

Neste caso, a entidade mercado tem os dois tipos de custos 35% mais caros que a entidade com o custo mais elevado. Isto acontece porque enquanto os outros valores apenas têm em consideração o custo da operação, no caso da entidade mercado já está incluído o fator lucro que esta tem de obter, pois não faz parte da colaboração, resultando assim num aumento do valor.

## Áreas florestais

Cada área florestal tem diferentes quantidades de recursos florestais disponíveis para serem explorados, mas todos eles da mesma espécie, como é apresentado na Tabela 4.4. Nesta instância, apenas foi considerada a existência de dois diferentes tipos de recursos florestais (*assortements*) a serem explorados (tipo\_0 e tipo\_1).

Tabela 4.4 - Informação sobre as áreas florestais

Área florestal	Entidade	Quantidade disponível (ton)
AF0	A	10000
AF1	B	15000
AF2	A	20000
AF3	C	3500
AF4	B	4000
AF5	C	6000

## Unidades fabris

Cada entidade possui uma unidade fabril e cada unidade tem um plano para todo o horizonte de planeamento, que nesta instância corresponde a um ano ( $T = 1 \text{ ano}, t = 1 \text{ mês}$ ). Nesse planeamento é discriminada a procura pelos vários tipos de recursos florestais (em toneladas) em cada mês, como apresentado na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 - Planeamento nas fábricas

	Recurso	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Mês 4	Mês 5	Mês 6	Mês 7	Mês 8	Mês 9	Mês 10	Mês 11	Mês 12	Procura Total
Fábrica 0 (entidade A)	tipo_0	500	550	600	600	590	570	550	500	530	500	460	400	6350
	tipo_1	800	850	900	950	1000	900	850	800	750	780	800	790	10170
Fábrica 1 (entidade B)	tipo_0	700	750	800	800	790	700	760	800	750	780	800	790	9220
	tipo_1	900	950	1000	1050	1100	1000	900	950	1000	1100	1150	1100	12200
Fábrica 2 (entidade C)	tipo_0	500	550	600	700	690	600	660	700	750	780	790	800	8120
	tipo_1	1000	1050	1100	1150	1100	1000	1050	1100	1150	1100	1150	1230	13180

A cada fábrica está também associado o valor da receita, por tonelada, de cada tipo de recurso florestal entregue na mesma, que depois de transformado e processado, dá origem ao produto final, como está detalhado na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 - Informação sobre as fábricas

Fábrica	Entidade pertencente	Tipo de recurso	Receita (€/Ton)	Procura total anual
F0	C	tipo_0	51	6350
		tipo_1	53	10170
F1	A	tipo_0	52	9220
		tipo_1	54	12200
F2	B	tipo_0	50	8120
		tipo_1	52	13180

Por último, no que se refere à entidade mercado (Tabela 4.7), esta tem associado um valor do preço de compra, por tonelada, isto é, o valor estipulado pelo mercado, para comprar recursos florestais às outras entidades. Tem também um preço de venda, por tonelada, ou seja, o valor a que o mercado vende os seus recursos florestais. A entidade mercado tem ainda associado um preço de transporte e um preço de exploração, que indica o custo para as outras entidades, caso queiram subcontratar algum destes serviços.

Tabela 4.7 - Informação sobre o mercado

Mercado	Tipo de recurso	Preço de compra (€/ton)	Preço de venda (€/ton)	Preço de transporte (€/km/veículo)	Preço de exploração (€/ton)
Mercado_0	tipo_0	28	32,4	0,27	16,2
	tipo_1	28	32,4		

## 4.2 Análise de resultados

Neste subcapítulo é feito uma análise aos resultados, da instância descrita, em quatro contextos distintos:

- caso colaborativo base;
- comparação do caso base com o planeamento não colaborativo;
- caso colaborativo base excluindo a partilha de recursos florestais;
- caso colaborativo base com balanceamento das atividades de exploração e de transporte.

Numa primeira fase é analisado o caso de colaboração base, onde se considera todas as entidades colaborativas como “comunitárias”, estando assim disponíveis para partilharem recursos florestais, entre as várias entidades da coligação. Este caso de estudo base não tem qualquer tipo de balanceamento de recursos utilizados. Tanto o desvio máximo permitido do total de quilómetros ( $\Delta t^{max}$ ) como o desvio máximo de áreas florestais exploradas ( $\Delta h^{max}$ ), são definidos de tal forma grandes, tornando-os insignificantes e sem qualquer tipo de impacto nos resultados do modelo. Numa segunda fase, são analisados os resultados obtidos neste caso base, mas agora comparando-os com o ambiente não colaborativo, onde cada entidade atua de forma autónoma. Na fase seguinte, é realizada uma outra análise de resultados ao caso de estudo base, mas agora excluindo o fator de partilha de recursos florestais, entre os parceiros da coligação. Por último, é analisado o impacto da introdução do balanceamento das atividades de exploração e de transporte, no caso colaborativo base inicial.

### 4.2.1 Caso colaborativo base

No que diz respeito aos resultados obtidos em colaboração é importante voltar a referir que o modelo pressupõe que todas as entidades presentes na instância de teste estão disponíveis e interessadas em colaborar (com a exceção da entidade mercado).

Todos os resultados do modelo, com a instância descrita neste caso base, foram conseguidos com um tempo de execução de 30 minutos e com um GAP de 0.0171%. Como todas as entidades deste caso de estudo base, são “comunitárias”, o modelo é limitado pelas restrições específicas para este tipo de entidades ( (3.18a), (3.19a) e (3.20a) ). As restrições destinadas às entidades “independentes”, não são criadas, pois neste caso não existe nenhuma entidade deste tipo.

Os resultados obtidos nesta instância, no que concerne à decisão sobre as áreas florestais a explorar, e respetivo período de exploração (mês) e ainda, sobre a quantidade a explorar de cada tipo de recurso florestal, são apresentados na Tabela 4.8 e na Figura 4.3.



Tabela 4.8 - Decisões de exploração

Área florestal	Quantidade de recurso tipo_0 explorado	Quantidade de recurso tipo_1 explorado	Índice do período da exploração	Entidade responsável pela exploração
AF0	6800	3200	5	A
AF1	11780	3220	12	A
AF2	16900	3100	11	A
AF3	1600	1900	7	A
AF4	2060	1940	10	A
AF5	2850	3150	4	A

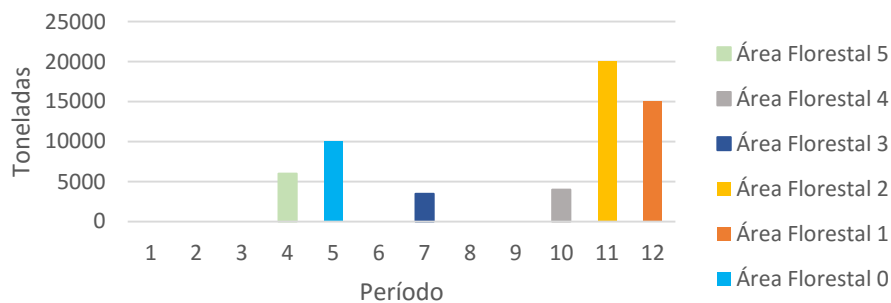
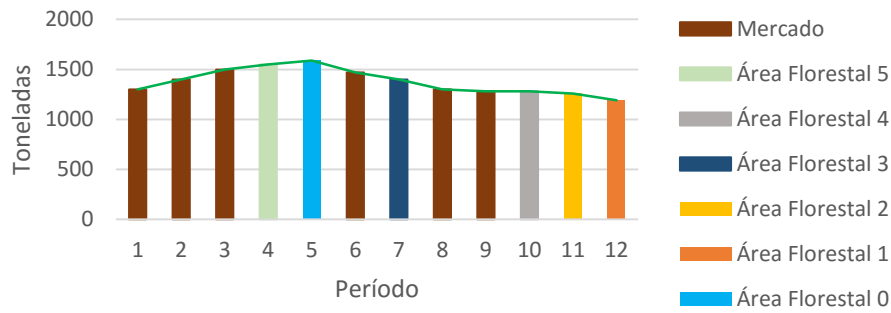


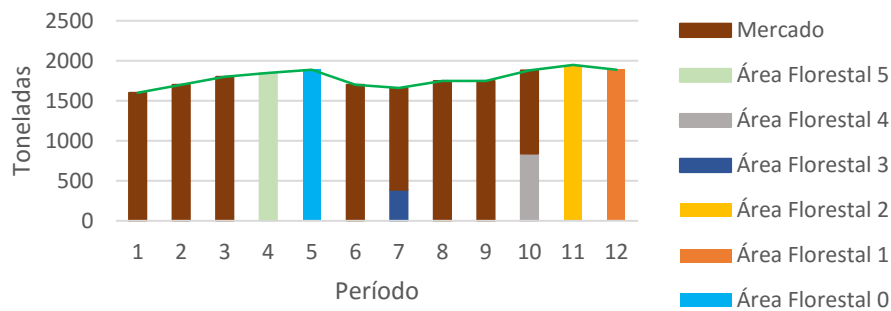
Figura 4.3 - Quantidade de recursos florestais explorados pela entidade A, em cada área florestal

Analisando estes resultados, é possível verificar que o modelo considera benéfico explorar todas as áreas florestais, ficando a entidade A responsável por todas as operações de exploração. Estes resultados estão diretamente relacionados com o custo de exploração (€/ton) e com a capacidade máxima de exploração mensal, das entidades. A entidade A é aquela que tem o custo de exploração mais baixo, seguindo-se a entidade B, C e, por fim, a entidade Mercado. Visto que a capacidade máxima de exploração mensal de A é de 30000 toneladas e como não existe nenhuma área florestal com uma quantidade disponível de recursos superiores a essa capacidade (a maior é a área florestal 2 com 20000 ton), todas as operações de exploração ficam ao encargo desta entidade, cujo as quantidades de recursos explorados se encontram detalhadas na Figura 4.3. Isto tudo com o intuito de minimizar os custos das atividades de exploração, ao longo do horizonte de planeamento.

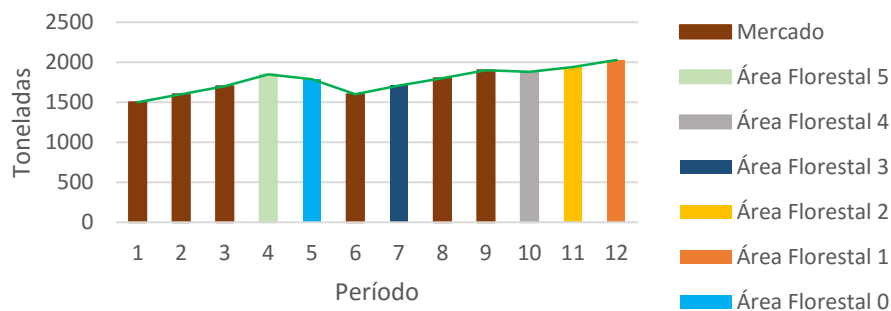
No que diz respeito às decisões de transporte, mais precisamente às quantidades a transportar entre os vários locais (áreas florestais, mercado e fábricas) ao longo do ano de planeamento, é apresentado na Figura 4.4, Figura 4.5 e Figura 4.6, os recursos florestais recebidos, respetivamente, na fábrica 0, fábrica 1 e na fábrica 2.



**Figura 4.4 - Quantidade de recursos florestais recebidos na fábrica 0**

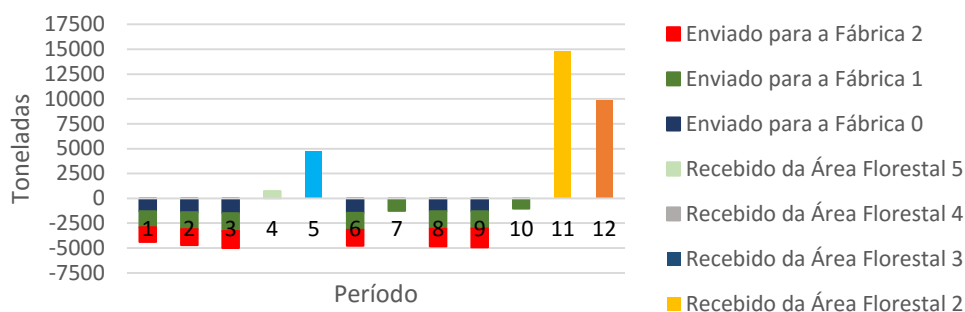


**Figura 4.5 - Quantidade de recursos florestais recebidos na fábrica 1**



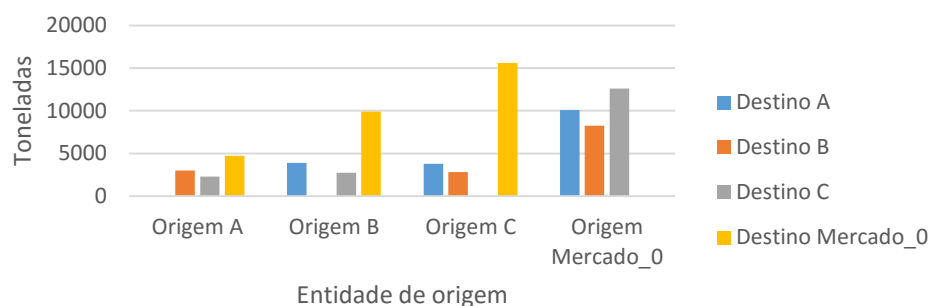
**Figura 4.6 - Quantidade de recursos florestais recebidos na fábrica 2**

É possível constatar que a procura em cada fábrica é satisfeita, sendo o principal fornecedor a entidade mercado. Isto é algo já espectável, dado o facto de as áreas florestais terem de ser exploradas num só período e nesse mesmo período, todos os recursos florestais explorados terem de ser transportados. Visto que não são considerados armazenamentos de *stock*, nem nas áreas florestais nem nas fábricas, a quantidade que é transportada para as fábricas corresponde apenas à procura naquele período de tempo, sendo o resto dos recursos vendidos ao mercado (Figura 4.7). As fábricas ficam assim obrigadas a comprarem os recursos ao mercado nos restantes períodos. Analisando a Figura 4.7, pode-se constatar que, no fim do horizonte de planeamento, o mercado vende mais recursos florestais (30960 ton) do que compra (30220 ton), conseguindo assim uma considerável margem de lucro.



**Figura 4.7 - Quantidade de recursos florestais recebidos e enviados pelo mercado**

Um aspeto interessante de analisar é a quantidade de recursos florestais que são partilhados entre os parceiros da colaboração, ou seja, a quantidade de recursos florestais que uma entidade recebe e/ou envia para as outras entidades da coligação, com o intuito de satisfazer a procura nas fábricas. Na Figura 4.8 estão representados esses fluxos, sendo também apresentado os que estão associados à entidade mercado. Torna-se mais uma vez claro que a maioria dos fluxos tem como principal origem e destino a entidade mercado. Mas também é perceptível, com a ajuda da Tabela 4.9, que a entidade B é o parceiro da colaboração que mais recursos envia (6640 ton), para os restantes membros da coligação. Por outro lado, é a entidade A que mais recursos florestais recebe dos parceiros (7700 ton), sendo também esta a única entidade que recebe mais recursos do que envia, como é possível apurar através da Figura 4.8.



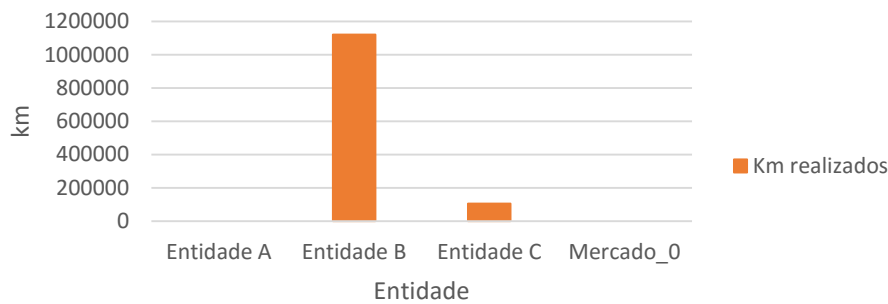
**Figura 4.8 - Fluxos de recursos florestais entre as entidades**

**Tabela 4.9 - Recursos florestais partilhados pelos parceiros da coligação**

	Recursos florestais recebidos (ton)	Recursos florestais enviados (ton)
Entidade A	7700	5270
Entidade B	5800	6640
Entidade C	5010	6600

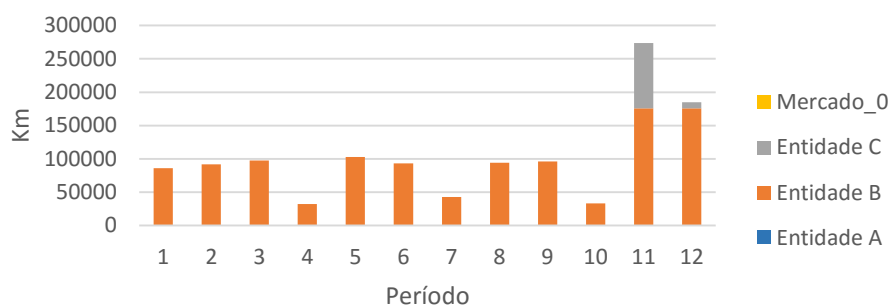
No que às operações de transporte diz respeito, verifica-se, através da Figura 4.9, que a entidade B é a entidade com mais quilómetros realizados. Este facto está diretamente relacionado com o custo do transporte (€/km/veículo), tendo a entidade B o custo de transporte mais baixo, seguindo-se, numa ordem crescente, a entidade C, A e o Mercado. Deste

modo a entidade B realiza a maior parte dos quilómetros, sendo a entidade C aquela que realiza os restantes quilómetros necessários.



**Figura 4.9 - Quilómetros totais realizados por cada entidade**

Analisando a distribuição dos quilómetros totais realizados, no agregado dos veículos de cada entidade, por cada período de tempo (Figura 4.10), verifica-se, o que já era espectável, que a entidade C só efetua viagens de transporte quando a entidade B já não tem mais capacidade. Isto sucede-se no período 11 e 12, quando a entidade B atinge o máximo da sua capacidade de transporte mensal (176000 km), torna-se então necessário que a entidade C realize as restantes viagens. É de realçar também, que tanto nas atividades de exploração como nestas, não foi necessário subcontratar qualquer serviço à entidade mercado.



**Figura 4.10 - Quilómetros realizados por cada entidade, em cada período de tempo**

Ao nível do lucro final, esta instância apresenta um resultado da função objetivo de 2128495€, obtendo receitas de cerca de 3938620€ e custos totais aproximadamente de 1810125€. Só é possível saber o que estes resultados representam, comparando-os com os resultados obtidos, utilizando esta mesma instância, noutros contextos colaborativos, fundamentalmente, com o contexto não colaborativo.

#### 4.2.2 Comparação do caso base com o planeamento não colaborativo

Em ambiente não colaborativo, cada entidade opera de forma individual, utilizando os seus recursos ou subcontratando/comprando à entidade mercado.

O modelo foi executado três vezes, considerando apenas uma entidade de cada vez, com o intuito de elaborar um plano para cada. Foram utilizados os mesmos parâmetros da

instância do caso de estudo inicial, em cada uma das três instâncias executas. A única diferença é que nesta caso cada entidade atua de forma autónoma e em vez de ter uma instância com as entidades A, B e C (que formam a coligação), temos em cada instância apenas uma entidade de cada vez (não formando assim uma coligação).

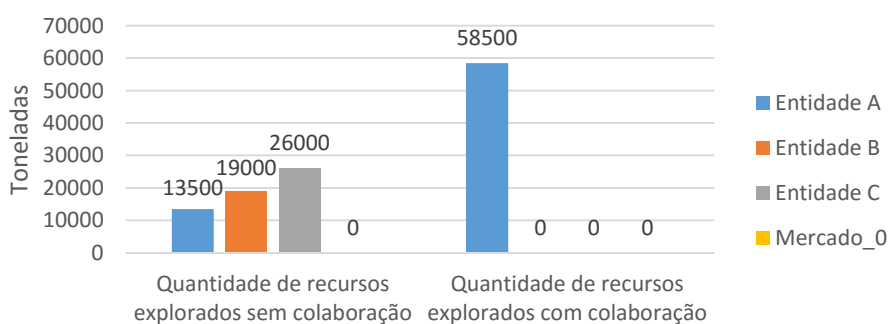
Todos os resultados do modelo, em ambiente não colaborativo, foram obtidos com um tempo de execução instantâneo (menos de 1 segundo) e com um GAP aproximadamente de 0.009%.

Como já foi referido, o modelo tem em consideração três distintos tipos de custos: custos resultantes das atividades de exploração, custos provenientes da compra direta de recursos florestais à entidade mercado e custos das operações de transporte. Com o auxílio da informação presente na Tabela 4.10 é possível observar que todos os tipos de custos sofrem uma diminuição considerável, em contexto colaborativo comparativamente com o contexto não colaborativo (ganhos colaborativos).

**Tabela 4.10 - Comparação dos vários tipos de custos, com e sem colaboração**

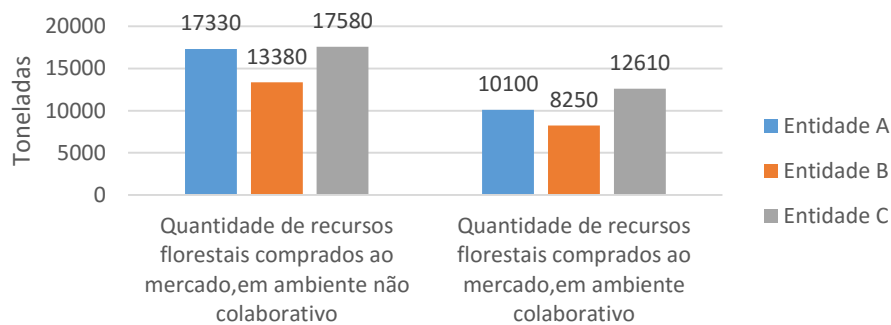
	Custo agregado de exploração (€)	Custo agregado da compra de recursos florestais ao mercado (€)	Custo agregado das operações de transporte (€)	Custo total agregado (€)
<b>Sem colaboração</b>	656000	1564596	349225	<b>2569821</b>
<b>Com colaboração</b>	585000	1003104	222021	<b>1810125</b>
<b>Ganhos colaborativos</b>	<b>10,82%</b>	<b>35,89%</b>	<b>36,42%</b>	<b>29,56%</b>

No que diz respeito às atividades de exploração, em circunstância não colaborativa, verifica-se que cada entidade explora todas as suas áreas florestais, acabando assim por explorar, na sua totalidade, a mesma quantidade de recursos florestais, do que no contexto colaborativo (Figura 4.11). O que difere em relação ao ambiente colaborativo é que no caso não colaborativo não existe uma otimização dos recursos, ou seja, não é feita uma alocação das entidades, para as várias atividades de exploração, tendo esta como objetivo minimizar os custos de exploração. A alocação feita pelo modelo, em ambiente colaborativo, resulta numa diminuição dos custos de exploração, no seu agregado, em cerca de 10,82%, em relação ao ambiente não colaborativo, como pode ser verificado pelos valores apresentados na Tabela 4.10



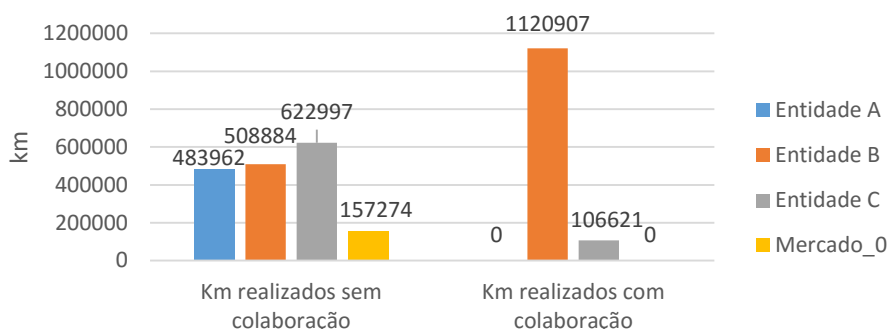
**Figura 4.11 - Comparação da quantidade de recursos florestais exploradas, por cada entidade, com e sem colaboração**

No que concerne aos custos relacionados com a compra de recursos florestais ao mercado, é evidente, através de uma análise da Tabela 4.10, que eles sofrem uma grande diminuição num contexto colaborativo, em comparação com a conjuntura não colaborativa. Na soma agregada deste tipo custo, das várias entidades, essa diminuição é 35,89%, estando isto relacionado com o facto de haver partilha de recursos florestais entre as entidades, o que implica obrigatoriamente uma diminuição na quantidade de recursos que é necessário comprar ao mercado (também menos 35,89%) e que por conseguinte resulta em menores custos. Ao analisar a Figura 4.12 facilmente se percebe a relação entre a diminuição da quantidade de recursos florestais comprados ao mercado, para satisfazer a procura nas várias fábricas, e a partilha de recursos florestais. Como já foi referido, a entidade A é aquela que mais recursos florestais recebeu das outras entidades e aquela que menos enviou, o que explica assim ser a entidade com uma diminuição maior (41,72%), no que se refere à quantidade de recursos florestais adquiridos ao mercado, para as suas fábricas.



**Figura 4.12 - Comparação da quantidade de recursos florestais comprados ao mercado, com e sem colaboração**

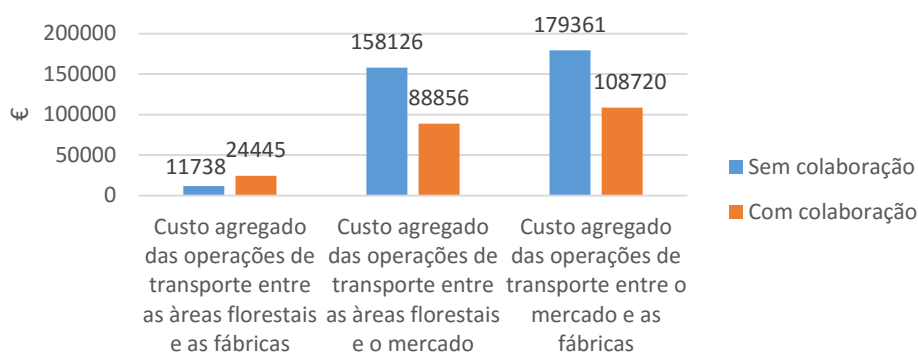
Em relação às operações de transporte existem vários fatores interessantes a serem analisados. Comparando a conjuntura colaborativa e não colaborativa, constata-se que no caso colaborativo existe uma diminuição dos quilómetros totais, realizados pelas entidades, em cerca de 30,77%, em relação ao caso não colaborativo. Observando a Figura 4.13 confirmamos que a entidade B destaca-se como sendo a entidade que mais quilómetros realiza, tendo aumentado 120,27%, em contexto colaborativo. Relativamente às outras entidades, observa-se que todas elas sofrem uma grande diminuição, sendo importante destacar a não subcontratação da entidade mercado, para serviços de transporte, bem como a não participação da entidade A neste tipo de operação. Enquanto no caso colaborativo, existe a possibilidade de partilhar capacidade de transporte, em ambiente não colaborativo isso já não se sucede, sendo assim obrigatório subcontratar serviços ao mercado, caso as entidades não tenham mais capacidade de transporte.



**Figura 4.13 - Comparação dos quilômetros realizados, por cada entidade, com e sem colaboração**

Esta diminuição de quilômetros realizados tem um impacto relevante no que se refere aos custos operacionais. Na Tabela 4.10, inicial, é possível observar uma acentuada diminuição de 36,42%, dos custos totais agregados das operações de transporte, em ambiente colaborativo, em relação aos mesmos custos agregados mas em contexto não colaborativo.

Com o objetivo de perceber onde é que essa diminuição é mais significativa e em que moldes ela ocorre, é apresentado detalhadamente na Figura 4.14 os custos agregados nos diversos tipos de operações de transporte (entre as áreas florestais e fábricas, entre as áreas florestais e o mercado e entre o mercado e as fábricas).



**Figura 4.14 - Comparação dos vários tipos de custos das operações de transporte, com e sem colaboração**

Analisando a Figura 4.14, naturalmente se repara que existe uma grande diminuição de custos, tanto nos serviços de transporte entre as áreas florestais e o mercado (43,81%), como entre o mercado e as fábricas (39,38%). Por outro lado verifica-se um forte aumento (108,25%) dos custos, em ambiente colaborativo, das operações de transporte entre as áreas florestais e as fábricas. Isto resulta da existência de partilha de recursos florestais entre os parceiros da coligação, que faz com que as entidades efetuem um maior número de viagens, neste caso, às áreas florestais das outras entidades, para transportar esses recursos, o que em contexto não colaborativo não acontece.

Todos estes tipos de minimizações de custos têm um grande impacto nos custos totais, correspondendo a uma diminuição dos custos totais, em ambiente colaborativo, de 29,56%, em comparação com a conjuntura não colaborativo.

Relativamente às receitas, elas dividem-se em duas (Tabela 4.11): receitas provenientes das fábricas e receitas provenientes da venda dos recursos florestais ao mercado.

As receitas provenientes das fábricas são iguais, quer seja com ou sem colaboração entre as entidades, isto porque cada fábrica tem o seu planeamento anual com procuras fixas que têm de ser satisfeitas, e que posteriormente geram uma receita também ela fixa.

**Tabela 4.11 - Comparação dos vários tipos de receitas, com e sem colaboração**

	Receita proveniente das fábricas (€)	Receita proveniente do mercado (€)	Receita total agregada (€)
<b>Sem colaboração</b>	3092460	1331400	<b>4423860</b>
<b>Com colaboração</b>	3092460	846160	<b>3938620</b>
<b>Ganhos colaborativos</b>	<b>0,00%</b>	<b>-36,45%</b>	<b>-10,97%</b>

Em relação às receitas provenientes do mercado, percebe-se que em ambiente colaborativo, existe uma diminuição, de aproximadamente 36,45%, em comparação com o contexto não colaborativo. Esta diminuição deve-se ao facto das entidades venderem menos recursos ao mercado, optando antes por partilha-los com as outras entidades da coligação. A variação das receitas provenientes do mercado faz com que, de uma forma agregada, as receitas totais sofram uma diminuição de 10,97% em ambiente colaborativo, comparativamente com o não colaborativo, como apresentado na Tabela 4.11

Por fim, estes custos e receitas resultam num lucro final, resultado da subtração das receitas agregadas pelos custos no seu agregado (receitas agregadas - custos agregados). Este lucro é 14,80% superior em circunstâncias colaborativos do que em não colaborativas, tal como detalhado na Tabela 4.12, sendo assim considerado como muito significativo e que demonstra bem os benefícios da colaboração na CAF.

**Tabela 4.12 - Comparação do lucro agregado, com e sem colaboração**

	Receita total agregada (€)	Custo total agregado (€)	Lucro total agregado (€)
<b>Sem colaboração</b>	4423860	2569821	1854039
<b>Com colaboração</b>	3938620	1810125	2128495
<b>Ganhos colaborativos</b>	<b>-10,97%</b>	<b>29,56%</b>	<b>14,80%</b>

Em síntese, torna-se importante realçar a diminuição de 36,42% dos custos com operações de transporte que se obtém com a cooperação entre as várias entidades. Devido ao facto de este tipo de custo representar apenas 13,59% dos custos totais, em ambiente colaborativo, a diminuição não é reproduzida da mesma forma no lucro final.

Por outro lado, é interessante destacar a diminuição de 35,89% de custos na compra de recursos ao mercado, pois este tipo de custo já representa um impacto maior no lucro final, sendo em ambiente não colaborativo 60,88% dos custos totais e depois de verificada a diminuição, resultante da colaboração entre as entidades, passa a representar 55,42%. Como já foi referido, a diminuição dos custos relacionados com as compras à entidade mercado está relacionada com a partilha de recursos florestais entre as entidades da colaboração. Para conseguir perceber qual o verdadeiro impacto que a partilha de recursos florestais, entre parceiros colaborativos, tem no comportamento da coligação e no lucro final, é interessante



comparar estes resultados com os obtidos numa colaboração que não tenha este tipo de prática. Deste modo, consegue-se, também, ter um maior foco nos custos de exploração e nos custos das operações de transporte.

Por último, é importante realçar o aumento de lucro conseguido em ambiente colaborativo em contraste com o obtido no cenário não colaborativo. Um aumento de 14,80% é um resultado bastante interessante, e que deixa bem patente as mais-valias da colaboração.

#### **4.2.3 Caso colaborativo base excluindo a partilha de recursos florestais**

Com o intuito de analisar o impacto da partilha dos recursos florestais, nos resultados obtidos em colaboração, é feita uma alteração ao caso base inicial. Nesta nova variante, do caso colaborativo base, todas as entidades colaborativas são “independentes”, não estando assim disponíveis para partilhar os seus recursos florestais com os parceiros da coligação. Comparativamente com o contexto não colaborativo, nesta variante do caso de estudo, as entidades da coligação podem partilhar entre si a capacidade de exploração e de transporte.

Contrariamente ao que se verifica com o caso de colaboração base, neste caso as restrições destinadas às entidades “independentes” ( (3.18b),(3.19b) e (3.20b) ) vão ter impacto no modelo. Já no que diz respeito às restrições destinadas às entidades “comunitárias” ( (3.18a),(3.19a) e (3.20a) ), estas não têm qualquer interferência nos resultados obtidos, pois não existe qualquer entidade “comunitária” nesta instância.

Todos os resultados do modelo, com esta alteração na instância, em ambiente colaborativo, foram obtidos com um tempo de execução de 30 minutos e com um GAP de 0.0144%.

Começando por analisar as decisões, resultantes do modelo, sobre as atividades de exploração, rapidamente se constata que todas elas continuam a ser da responsabilidade da entidade A (como se pode verificar pelas figuras apresentadas no Anexo B). A única diferença, em relação aos resultados do modelo com partilha de recursos (caso base), está relacionada com a alocação no tempo, das atividades de exploração a cada zona florestal, sempre com o intuito de minimizar os custos das operações.

No que respeita às operações de transporte, facilmente se verifica (como apresentado nas figuras presentes no Anexo B), que em cada fábrica só chegam recursos florestais provenientes do mercado ou das áreas florestais, da entidade à qual a fábrica pertence. Facto que já era esperado devido à não partilha de recursos, entre os parceiros da coligação. Esta não partilha de recursos faz com que a coligação, no seu todo, seja obrigada a comprar e a vender mais recursos florestais à entidade mercado, comparativamente com a colaboração com partilha de recursos florestais. Encontra-se assim, neste caso, nas mesmas circunstâncias da conjuntura não colaborativa.

Para perceber o impacto, da não partilha de recursos florestais na coligação, nos custos operacionais, é detalhado na Tabela 4.13 os vários tipos de custos, nos diferentes contextos.

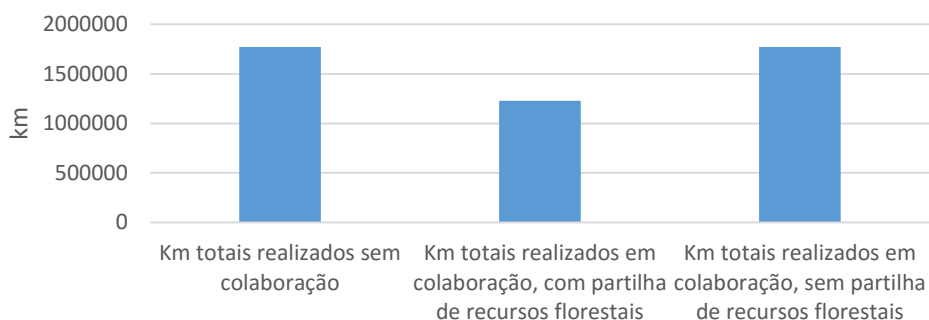
Tabela 4.13 - Comparação dos diversos tipos de custos, no contexto não colaborativo e colaborativo sem partilha de recursos florestais

	Custo agregado de exploração (€)	Custo agregado da compra de recursos florestais ao mercado (€)	Custo agregado das operações de transporte (€)	Custo total agregado (€)
<b>Sem colaboração</b>	656000	1564596	349225	<b>2569821</b>
<b>Com colaboração, sem partilha de recursos florestais</b>	585000	1564596	322434	<b>2472030</b>
<b>Ganhos colaborativos</b>	<b>10,82%</b>	<b>0,00%</b>	<b>7,67%</b>	<b>3,81%</b>

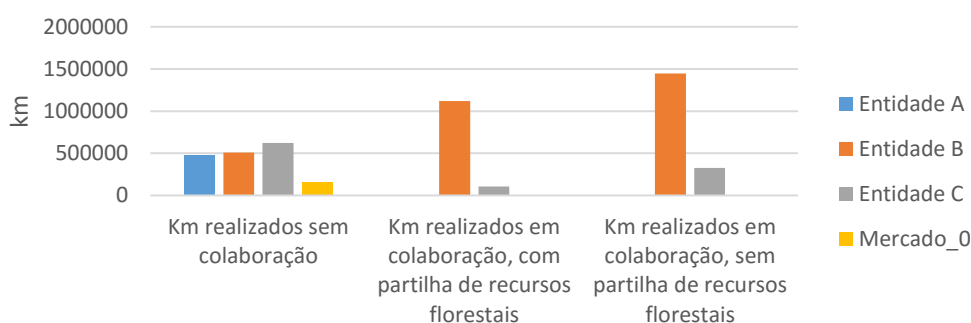
No que diz respeito aos custos agregados das atividades de exploração, não existe qualquer alteração, comparativamente com a colaboração com partilha de recursos florestais. Isto porque, como já foi mencionado, as atividades de exploração continuam a ser todas da responsabilidade da entidade A. Continuando assim, com uma diminuição, de custos agregados de exploração, de 10,82%, em relação ao contexto não colaborativo.

Por outro lado, no que diz respeito ao custo de compra de recursos florestais ao mercado, confirma-se que são iguais aos obtidos em ambiente não colaborativo. Isto justifica-se pois as circunstâncias são iguais nos dois contextos, em ambos os casos as entidades têm de comprar diretamente à entidade mercado, a mesma quantidade de recursos, sendo este o único modo de conseguir satisfazer a procura nas fábricas.

Já no se refere aos custos das operações de transporte, os resultados variam conforme o contexto colaborativo. Como se pode confirmar através da Figura 4.15, também os quilómetros totais realizados por todos parceiros, quer seja em ambiente não colaborativo ou em ambiente colaborativo sem partilha de recursos florestais, são os mesmos. O fator diferenciador é a alocação das operações de transporte aos vários agentes colaborativos. Enquanto em ambiente não colaborativo as entidades atuam de forma individual, e portanto tem de realizar as viagens entre os locais de que são proprietários (áreas florestais e fábricas) mais o mercado, no caso do contexto colaborativo (com ou sem partilha de recursos florestais) a capacidade de transporte pode ser partilhada entre os parceiros. Na Figura 4.16, estão detalhados os quilómetros efetuados por cada entidade. Verifica-se, então, que em contexto colaborativo, sem partilha de recursos florestais, a distribuição das viagens, pelas entidades, é, também, feita tendo em consideração o custo de transporte de cada entidade. Esta alocação, otimizada, é responsável pela diminuição de 7,67% dos custos agregados das operações de transporte, comparativamente com o contexto não colaborativo.



**Figura 4.15 - Comparação dos quilómetros totais realizados, nos vários contextos colaborativos**



**Figura 4.16 - Comparação dos quilómetros realizados, por cada entidade, nos vários contextos colaborativos**

Deste modo, a diminuição dos custos agregados das atividades de exploração e das operações de transporte resulta numa diminuição de 3,81% nos custos totais agregados (Tabela 4.13), comparativamente com o ambiente não colaborativo. Esta diminuição fica bastante longe da obtida em colaboração com partilha de recursos florestais (36,42%), o que demonstra o impacto que este tipo de partilha tem nos custos operacionais.

Em relação as receitas, facilmente se percebe que são iguais às obtidas em circunstâncias não colaborativas. Como já foi mencionado, as receitas provenientes das fábricas vão ser sempre equivalentes, pois satisfazem a mesma procura. Relativamente às receitas resultantes da venda de recursos florestais à entidade mercado, estas fazem parte da mesma conjuntura presente nos custos de compra dos mesmos ao mercado. Da mesma maneira que a quantidade de recursos comprada é igual, tanto em contexto não colaborativo como em colaborativo sem partilha de recursos, os recursos florestais vendidos também vão ser, obrigatoriamente, iguais, originando assim a mesma receita.

Por fim, estes custos e receitas resultam num lucro agregado, de aproximadamente 1951830€, como apresentado na Tabela 4.14.

Tabela 4.14 - Comparação de lucro, no contexto não colaborativo e colaborativo sem partilha de recursos florestais

	Receita total agregada (€)	Custo total agregado (€)	Lucro total agregado (€)
Sem colaboração	4423860	2569821	1854039
Com colaboração, sem partilha de recursos florestais	4423860	2472030	1951830
Ganhos colaborativos	0,00%	3,81%	5,27%

Analisando a Tabela 4.14, observa-se que este lucro é superior ao obtido em ambiente não colaborativo, em cerca de 5,27%. Por outro lado, é importante realçar que o mesmo é inferior ao conseguido em circunstâncias colaborativas, com partilha de recursos florestais entre os parceiros da coligação (caso base), em aproximadamente 9,53% (o ganho colaborativo no caso base é de 14,80%). Isto reflete bem as mais-valias que este tipo de partilha pode trazer para a colaboração. Pode tornar a colaboração mais complexa, mas quando é bem executada pode resultar em benefícios bastante consideráveis, como evidenciados nesta instância.

Por último, é possível concluir que a não partilha de recursos florestais, entre os elementos da coligação, resulta essencialmente numa diminuição da minimização dos custos totais operacionais, comparativamente com a colaboração com partilha de recursos. Pois, se em contexto de colaboração com partilha de recursos, verificou-se uma acentuada minimização dos custos de venda de recursos florestais ao mercado, sem essa partilha a coligação voltou a ficar mais dependente da entidade mercado, retirando assim uma considerável margem de lucro, à mesma. Nestas circunstâncias, conseguiu-se um lucro final superior ao contexto não colaborativo, devido, exclusivamente, à minimização dos custos de exploração e de transporte.

#### 4.2.4 Caso colaborativo base com balanceamento das atividades de exploração e de transporte

Com a finalidade de distribuir o “esforço” e o trabalho de uma forma mais balanceada, é feita uma alteração, à instância do caso base inicial, no que diz respeito aos dois parâmetros de desvio máximo ( $\Delta t^{max}$  e  $\Delta h^{max}$ ). Em todas as instâncias anteriores, estes parâmetros não tinham qualquer impacto nos resultados do modelo, ou seja não havia balanceamento dos quilómetros totais, realizados por cada parceiro, nem balanceamento do número de áreas florestais exploradas, por cada entidade colaborativa. Como foi possível verificar, isso resultou num “sobrecarregamento” de algumas entidades, enquanto outras pouco ou nada contribuíram, para as mesmas. Um exemplo disso é a entidade A ser a única responsável por todas as atividades de exploração ou a entidade B realizar a grande maioria das viagens necessárias (até ao máximo das suas capacidades), como ocorre no contexto colaborativo base. Por um lado, este “sobrecarregamento” aumenta os lucros finais, pois estão a ser utilizados os recursos com o custo mais baixo, mas por outro, torna as contribuições de cada um, desequilibradas, o que pode não agradar a algumas entidades que queiram participar neste processo colaborativo.

Esta instância estabelece então que o desvio máximo permitido, do total de quilômetros, realizados por cada parceiro, não pode ser superior a 88000 Km ( $\Delta t^{max} = 88000$ ), o que corresponde a metade da capacidade mensal mais pequena. Já no que concerne ao desvio máximo de áreas florestais exploradas, por cada entidade em colaboração, esse desvio é de uma área florestal ( $\Delta h^{max} = 1$ ), ou seja, só é permitida a diferença de uma área florestal, em relação aos outros parceiros. Foram escolhidos estes valores, com o intuito de fazer um balanceamento consideravelmente equilibrado, podendo estes parâmetros serem alterados consoante o que for pré-estabelecido, entre os parceiros da coligação

Todos os resultados do modelo, com a instância descrita, neste contexto colaborativo, foram obtidos com um tempo de execução de 30 minutos e com um GAP de 0.02%.<sup>1</sup>

Nesta análise, todas as entidades são “comunitárias”, estando assim disponíveis para partilhar recursos florestais com os parceiros de coligação.

A introdução do balanceamento das atividades de exploração e de transporte apenas têm impacto nestas duas áreas, comparativamente com o contexto colaborativo base (sem balanceamento).

Os resultados obtidos, nesta instância, no que concerne às decisões relativas às atividades de exploração estão discriminadas na Tabela 4.15 e na Figura 4.17.

Tabela 4.15 - Decisões de exploração, com balanceamento

Área Florestal	Quantidade de recurso tipo_0 explorado	Quantidade de recurso tipo_1 explorado	Índice do período da exploração	Entidade responsável pela exploração
AF0	6800	3200	5	B
AF1	11880	3120	12	A
AF2	5175	14825	11	A
AF3	1600	1900	7	C
AF4	2060	1940	10	C
AF5	2850	3150	4	B

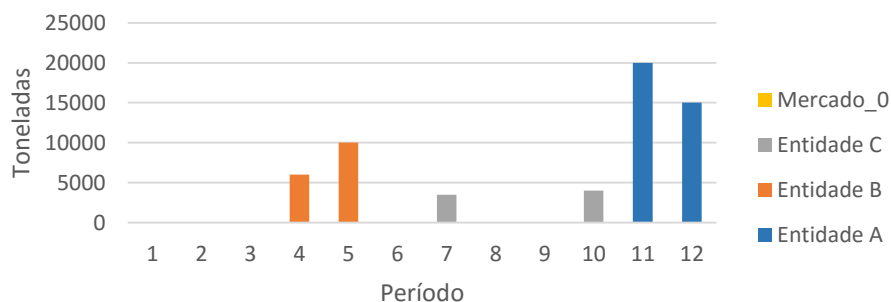
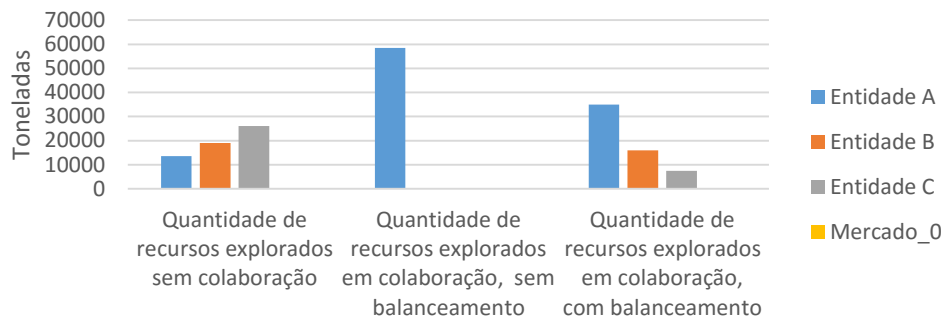


Figura 4.17 -Quantidade total de recursos florestais explorados, por cada entidade, com balanceamento

Analisando estes resultados, verifica-se que o modelo continua a considerar favorável explorar todas as áreas florestais, ficando, neste caso, cada um dos parceiros responsável por duas áreas. É possível, assim, constatar que o balanceamento das atividades de exploração é satisfeito. Observa-se também, como seria expectável, que as áreas florestais maiores são

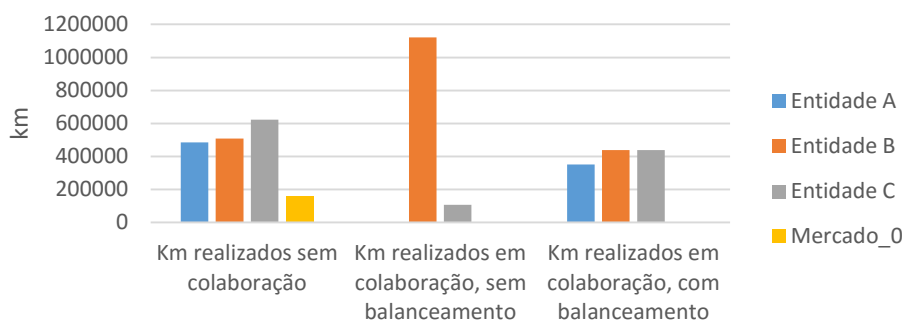
alocadas às entidades com os custos de exploração mais baixos. Na Figura 4.18 é possível verificar, de uma forma global, o efeito do balanceamento das atividades de exploração, comparativamente com o ambiente não colaborativo e com o ambiente colaborativo sem balanceamento (caso base). Constata-se, neste caso, um maior nivelamento, do que no caso colaborativo base, no que diz respeito às toneladas de recursos explorados, por cada entidade colaborativa.



**Figura 4.18 - Comparação da quantidade de recursos explorados, por cada entidade, com e sem balanceamento**

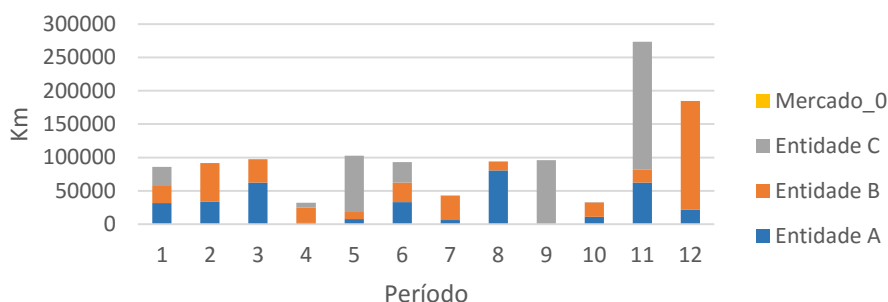
No que diz respeito às decisões de transporte, esta introdução de balanceamentos, só altera, em relação ao caso base inicial (colaboração sem balanceamento), a alocação das viagens de transporte às respetivas entidades. Como tal, os fluxos entre as várias entidades vão ser iguais nos dois contextos colaborativos, i.e., a quantidade total de recursos florestais transportados entre os diversos locais (áreas florestais, fábricas e mercado) vão ser exatamente iguais. Isto acontece pois em ambos os casos são explorados as mesmas áreas florestais o que, consequentemente, resulta numa otimização dos fluxos igual.

Ao analisar a Figura 4.19, vemos uma distribuição mais uniforme dos quilómetros pelas várias entidades da coligação, comparativamente com a conjuntura colaborativa sem balanceamento. Balanceamento esse que não ultrapassa o desvio máximo permitido, do total de quilómetros realizados por cada entidade (88000 km). A diferença entre os quilómetros realizados pela entidade A (entidade com o custos de transporte mais elevado) e a entidade B como também entre a entidade A e a entidade C é de, respetivamente, 87999 km e 87979 km, o que demonstra, como seria de esperar, que o desvio é levado ao máximo permitido, nas entidades com o custo de transporte mais baixo. É ainda importante realçar que, também, neste contexto, não foi necessário subcontratar qualquer tipo de serviço de transporte à entidade mercado. Tudo isto com o intuito de minimizar os custos, dentro das restrições acordadas.



**Figura 4.19 - Comparação de quilómetros realizados, por cada entidade, com e sem balanceamento**

Observando a Figura 4.20 é possível concluir que em nenhum período a capacidade máxima de transporte mensal (soma agregada dos quilómetros realizados por todos os veículos, da respetiva entidade) foi esgotada. Apenas no período 11 a entidade C fica bastante perto da sua capacidade máxima (realiza 192360 km tendo esta capacidade para 193600 km), estando isto diretamente relacionado com o balanceamento dos quilómetros.



**Figura 4.20 - Quilómetros realizados por cada entidade, em cada período de tempo, com balanceamento**

Estas alterações provocadas pelo balanceamento dos recursos, tanto, de exploração como de transporte, vão ter consequências, também, no que diz respeito aos custos e por conseguinte no lucro final. Para analisar o impacto que o balanceamento tem nos custos, é apresentado na Tabela 4.16 os vários tipos de custos, comparativamente com o contexto não colaborativo.

**Tabela 4.16 - Comparação dos vários tipos de custos, sem colaboração e com colaboração balanceada**

	Custo agregado de exploração (€)	Custo agregado da compra de recursos florestais ao mercado (€)	Custo agregado das operações de transporte (€)	Custo total agregado (€)
<b>Sem colaboração</b>	656000	1564596	349225	<b>2569821</b>
<b>Com colaboração, com balanceamento</b>	616000	1003104	232350	<b>1851454</b>
<b>Ganhos colaborativos</b>	<b>6,10%</b>	<b>35,89%</b>	<b>33,47%</b>	<b>27,95%</b>

Relativamente aos custos agregados das atividades de exploração, com a inclusão do nivelamento no número de áreas florestais exploradas, por cada entidade da coligação, obteve-se uma diminuição de 6,10%, comparativamente com o contexto não colaborativo. Este resultado demonstra que este balanceamento tem um impacto de 4,72%, quando se compara, os ganhos colaborativos, com e sem balanceamento (10,82%) das operações de exploração. Trata-se de uma diminuição já esperada, dado ao facto de se estar a “forçar” outras entidades, com o custo de exploração mais elevado, a participar nas atividades de exploração.

Em relação aos custos agregados de compra ao mercado, os ganhos colaborativos não se alteram comparativamente com o contexto colaborativo sem balanceamento. Isto é justificado com o facto de os fluxos entre as entidades serem iguais, ou seja a quantidade comprada e vendida é exatamente a mesma, que a verificada no caso base inicial (sem colaboração). Resultando na redução de 35,89% quando comparado com o contexto não colaborativo.

No que concerne aos custos agregados das operações de transporte, com o balanceamento destas atividades conseguiu-se uma diminuição de 33,47%, comparativamente com o ambiente não colaborativo. Comparando este resultado com o obtido em contexto colaborativo sem balanceamento (36,42%), constata-se que este maior nivelamento dos quilómetros realizados, por cada entidade da coligação, representa uma diminuição de 2,95%, quando se comparam estes dois tipos de conjunturas. Esta diminuição é, mais uma vez, devido à participação das outras entidades, neste caso, com o custo de transporte mais elevado, nas operações de transporte.

Já em relação às receitas, a conjuntura é igual ao do contexto colaborativo sem balanceamento de recursos (Tabela 4.17). Isto é resultante do facto de os fluxos de recursos florestais para as fábricas e para o mercado, serem iguais nos dois contextos colaborativos.

**Tabela 4.17 - Comparação de receitas, sem colaboração e com colaboração balanceada**

	<b>Receita proveniente das fábricas (€)</b>	<b>Receita proveniente do mercado (€)</b>	<b>Receita total agregada (€)</b>
<b>Sem colaboração</b>	3092460	1331400	<b>4423860</b>
<b>Com colaboração, com balanceamento</b>	3092460	846160	<b>3938620</b>
<b>Ganhos colaborativos</b>	<b>0,00%</b>	<b>-36,45%</b>	<b>-10,97%</b>

Estes custos e receitas resultam num lucro final 12,57% superior ao obtido em circunstâncias não colaborativas, a observar pela informação presente na Tabela 4.18. Verifica-se também que o impacto do balanceamento das atividades de exploração e de transportes traduz-se, comparativamente com o ambiente colaborativo sem balanceamento (caso colaborativo base - 14,80%), numa diminuição de 2,23% do lucro total.



Tabela 4.18 - Comparação do lucro agregado, sem colaboração e com colaboração balanceada

	Receita total agregada (€)	Custo total agregado (€)	Lucro total agregado (€)
<b>Sem colaboração</b>	4423860	2569821	1854039
<b>Com colaboração, com balanceamento</b>	3938620	1851454	2087166
<b>Ganhos colaborativos</b>	<b>-10,97%</b>	<b>27,95%</b>	<b>12,57%</b>

Em jeito de conclusão, verifica-se que com a introdução do balanceamento das atividades de exploração e das atividades de transporte, existe um maior nivelamento nas várias operações, pelas entidades pertencentes à colaboração. Apesar de continuar a haver contributos diferentes, por partes das entidades da coligação, estes são menos extremados, dependendo, também, sempre dos desvios pré-estabelecidos aquando da formação da coligação. Junto a isto, é necessário realçar que a inclusão destes tipos de balanceamentos têm um custo, que é variável consoante o balanceamento estabelecido. No caso da instância em análise, esse custo traduz-se numa diminuição (2,23%) do lucro final, quando comparado com o mesmo contexto, mas sem balanceamento. Tratando-se de um fator bastante relevante quando se equaciona formar uma coligação, neste contexto colaborativo.

#### 4.2.5 Resumo

Em suma, constata-se, como já era espectável, que numa colaboração sem qualquer tipo de restrição de partilha de recursos ou de balanceamento (caso colaborativo base), se obtém maiores ganhos, quando comparado com os outros contexto colaborativos, com este tipo de limitações. É importante realçar, mais uma vez, que a não partilha de recursos florestais, resulta numa diminuição de lucros de 9,53%, tal como é possível depreender ao observar a Tabela 4.19. Por outro lado, a introdução do balanceamento das atividades de exploração e das operações de transporte, resulta também numa diminuição de lucro, neste caso de 9,53%.

Tabela 4.19 - Resumo dos ganhos colaborativos, nos diferentes contextos comparativamente com a conjuntura não colaborativa

Contexto colaborativo	Receita total agregada	Custo total agregado	Lucro total agregado
<b>Com colaboração base</b>	<b>-10,97%</b>	<b>29,56%</b>	<b>14,80%</b>
<b>Com colaboração base, excluindo partilha de recursos florestais</b>	<b>0,00%</b>	<b>3,81%</b>	<b>5,27%</b>
<b>Com colaboração base, com balanceamento</b>	<b>-10,97%</b>	<b>27,95%</b>	<b>12,57%</b>

### 4.3 Incentivos colaborativos na alocação do lucro, do caso base, às entidades colaborativas

Aplicando o modelo desenvolvido no caso de estudo base conseguiu-se maximizar o lucro final total, obtido através da colaboração entre as várias entidades intervenientes. Este lucro total é o valor agregado do lucro obtido pela coligação, tornando-se então essencial assegurar, agora, uma distribuição justa, do mesmo, pelos vários parceiros. Todos os parceiros necessitam de incentivos/benefícios, que de forma não colaborativa não obtêm, para assim continuar a participar e manter uma colaboração de sucesso e duradoura no tempo.

Nesta secção serão aplicados os incentivos colaborativos propostos, já detalhados no subcapítulo 3.4, para alocar o lucro total, obtido no caso de estudo colaborativo base, às entidades intervenientes na colaboração (entidade A, B e C).

#### 4.3.1 Métodos proporcionais

##### Método “egalitarian”

Ao aplicar este método, no caso em estudo, é feita uma divisão igual, do lucro total, por todos os parceiros, obtendo os resultados apresentados na Tabela 4.20.

Tabela 4.20 - Ganhos colaborativos obtidos com a aplicação do método " *egalitarian* "

Entidades	Lucro sem colaboração	Lucro com colaboração	Ganhos colaborativos	Ganhos colaborativos totais
Entidade A	564916	709498	25,59%	14,80%
Entidade B	560603	709498	26,56%	
Entidade C	728520	709498	-2,61%	
<b>Total</b>	<b>1854039</b>	<b>2128495</b>	-	-

Analisando os resultados, facilmente percebemos que a entidade C obtém um lucro colaborativo inferior ao lucro obtido sem colaboração, com uma variação de 2,61%. Em circunstâncias normais, este tipo de resultado faz com que a entidade C prefira não participar na colaboração. Por outro lado, caso esta entidade saia da coligação as outras duas entidades (A e B) vão ter, também, uma diminuição considerável nos seus lucros. Posto isto, é interessante, para todos, encontrar um meio-termo, ou seja, as entidade A e B não terem estes lucros tão elevados para não colocarem a entidade C numa situação de tal maneira desfavorável. Deste modo, caso a entidade C saia da coligação, as entidades A e B, não vão conseguir ganhos colaborativos tão vantajosos. Em conclusão, todas as entidades ficariam a perder com a saída da entidade C.

Verifica-se assim que este método acaba por não ser favorável para a coligação, tendo em conta o sucesso e a manutenção da mesma.

### Método baseado nos lucros individuais em não colaboração

Numa primeira fase, é necessário calcular a proporção dos lucros ( $w_j = \frac{l(\{j\})}{\sum_{i \in N} l(\{i\})}$ ) associado a cada parceiro, para em seguida conseguir calcular o lucro ( $y_j = w_j \times l(N)$ ) a ser alocado a cada um.

Os resultados obtidos com a aplicação deste método estão apresentados na Tabela 4.21 e Tabela 4.22.

Tabela 4.21 - Resultados obtidos com a aplicação do método baseado nos lucros individuais

Entidade	$w_j(\%)$	$y_j$
Entidade A	30,5%	<b>648540,9</b>
Entidade B	30,2%	<b>643590,1</b>
Entidade C	39,3%	<b>836363,7</b>

Tabela 4.22 - Ganhos colaborativos obtidos com a aplicação do método baseado nos lucros individuais

Entidades	Lucro sem colaboração	Lucro com colaboração	Ganhos colaborativos	Ganhos colaborativos totais
Entidade A	564916	<b>648541</b>	14,80%	14,80%
Entidade B	560603	<b>643590</b>	14,80%	
Entidade C	728520	<b>836364</b>	14,80%	
<b>Total</b>	<b>1854039</b>	<b><u>2128495</u></b>	-	-

Como se pode constatar, este método aloca os lucros, às várias entidades, tendo em conta o ganho colaborativo total obtido. Neste caso o lucro obtido em colaboração é 14,80% superior ao total da soma dos lucros que cada entidade faz em ambiente não colaborativo. Esta variação é a mesma que cada entidade vai obter, resultante da colaboração, comparativamente com o lucro obtido de forma individual. Os ganhos colaborativos de cada interveniente vão ser assim iguais.

Este tipo de alocação de lucro é bastante simples e prática, mas pode ser, em alguns casos, considerado como injusto, pois não tem em consideração as contribuições de cada entidade na coligação. Apenas tem como base os resultados obtidos em contexto não colaborativo.

### 4.3.2 Método baseado no valor de Shapley

Para aplicar este método de alocação é necessário, primeiramente, saber qual o lucro ( $l(S)$ ) obtido nas várias possíveis subcoligações ( $\{A,B,C\}$ ;  $\{A,B\}$ ;  $\{A,C\}$ ;  $\{B,C\}$ ;  $\{A\}$ ;  $\{B\}$ ;  $\{C\}$ ), como é apresentado na Tabela 4.23.

Tabela 4.23 - Lucro obtido nas várias subcoligações

$l(A,B,C)$	$l(\{A,B\})$	$l(\{A,C\})$	$l(\{B,C\})$	$l(\{A\})$	$l(\{B\})$	$l(\{C\})$
2128495	1219028	1433329	1398389	564916	560603	728520

Em seguida, já é possível calcular o lucro colaborativo alocado a cada entidade ( $y_j = \sum_{S \subset N: j \in S} \frac{(|S|-1)!(|N|-|S|)!}{|N|!} (l(S) - l(S - \{j\}))$ ). Os resultados obtidos, bem como os ganhos colaborativos resultantes, estão apresentados na Tabela 4.24

Tabela 4.24 - Ganhos colaborativos obtidos com a aplicação do método baseado valor de *Shapley*

Entidades	Lucro sem colaboração	Lucro com colaboração	Ganhos colaborativos	Ganhos colaborativos totais
Entidade A	564916	658879	16,63%	14,80%
Entidade B	560603	639253	14,03%	
Entidade C	728520	830362	13,98%	
<b>Total</b>	<b>1854039</b>	<b>2128495</b>	-	-

Analisando os resultados, facilmente se percebe que todos os parceiros têm ganhos colaborativos, destacando-se a entidade A, com um ganho mais significativo.

Este método de alocação é bastante utilizado e conceituado na literatura, muito devido a satisfazer um grande número de propriedades importantes como a eficiência, simetria, “*dummy property*” e a propriedade aditiva.

### 4.3.3 Métodos baseados nos lucros separáveis e não separáveis

Neste caso de estudo, os lucros separáveis ( $m_j = l(N) - l(N - \{j\})$ ), associados a cada entidade, e o lucro não separável ( $g(N) = l(N) - \sum_{j \in N} m_j$ ) agregado, são os seguintes (Tabela 4.25):

Tabela 4.25 - Lucro separável e não separável

Entidade	Lucro separável ( $m_j$ )	Lucro não separável ( $g(N)$ )
Entidade A	730105,4	-206243,3
Entidade B	695165,8	
Entidade C	909466,7	
<b>Total</b>	<b>1425271,2</b>	<b>-206243,3</b>

Estando o lucro separável já alocado, a cada entidade, é necessário agora alocar o não separável. Para este procedimento serão utilizados os três distintos métodos propostos na secção 3.4.3.

#### Adaptação do *Equal Charge Method* (ECM)

Com a utilização deste método, o lucro não separável é dividido de igual forma por todos os parceiros ( $w_j = 1$ ), obtendo os resultados apresentados na Tabela 4.26.

Tabela 4.26 - Lucro final alocado a cada entidade com base no método ECM

Entidade	Lucro separável ( $m_j$ )	Lucro não separável ( $g(N)$ )	Proporção ( $w_j$ )	Lucro final ( $y_j$ )
Entidade A	730105,4	-206243,3	1,0	<b>661357,6</b>
Entidade B	695165,8		1,0	<b>626418,1</b>
Entidade C	909466,7		1,0	<b>840719,0</b>
<b>Total</b>	<b>2334737,9</b>	<b>-206243,3</b>	<b>3</b>	<b><u>2128494,7</u></b>

Observando a Tabela 4.27, pode-se verificar que todas as entidades têm consideráveis ganhos colaborativos, mas mais uma vez, pode ser injusto alocar os lucros não separáveis de igual forma por todos, correndo o risco de não estar a ter em consideração as diferentes contribuições, dos vários participantes.

Tabela 4.27 - Ganhos colaborativos obtidos com base no método ECM

Entidades	Lucro sem colaboração	Lucro com colaboração	Ganhos colaborativos	Ganhos colaborativos totais
Entidade A	564916	<b>661358</b>	17,07%	14,80%
Entidade B	560603	<b>626418</b>	11,74%	
Entidade C	728520	<b>840719</b>	15,40%	
<b>Total</b>	<b>1854039</b>	<b><u>2128495</u></b>	-	-

#### Adaptação do Alternative Cost Avoided Method (ACAM)

Com aplicação deste método, a proporção de distribuição ( $w_j = l(\{j\}) - m_j$ ) e, consequentemente, o lucro final alocado ( $y_j$ ), a cada entidade, são os seguintes (Tabela 4.28):

Tabela 4.28 - Lucro final alocado a cada entidade com base no método ACAM

Entidade	Lucro sem colaboração ( $l(\{j\})$ )	Lucro separável ( $m_j$ )	Lucro não separável ( $g(N)$ )	Proporção ( $w_j$ )	Lucro final ( $y_j$ )
Entidade A	564916	730105	-206243,3	-165189,7	<b>659230,9</b>
Entidade B	560603	695166		-134562,5	<b>637432,0</b>
Entidade C	728520	909467		-180946,8	<b>831831,7</b>
<b>Total</b>	<b>1854039</b>	<b>2334738</b>	<b>-206243,3</b>	<b>-480699,0</b>	<b><u>2128494,7</u></b>

Ao analisar a Tabela 4.29, onde estão apresentados os ganhos colaborativos de cada entidade, pode-se verificar que a divisão do lucro foi benéfica para todos, comparativamente com o ambiente não colaborativo. É possível constatar que a entidade A continua a ser a entidade com ganho mais significativo, em relação aos outros parceiros. Em relação às outras duas entidades (B e C), os ganhos não são muito diferente, à imagem do resultado obtido com o método baseado no valor de *shapley*. Contudo, neste caso, a entidade C é a segunda com maiores ganhos obtidos.

Tabela 4.29 - Ganhos colaborativos obtidos com base no método ACAM

Entidades	Lucro sem colaboração	Lucro com colaboração	Ganhos colaborativos	Ganhos colaborativos totais
Entidade A	564916	659230,9	16,70%	14,80%
Entidade B	560603	637432,0	13,70%	
Entidade C	728520	831831,7	14,18%	
<b>Total</b>	<b>1854039</b>	<b>2128495</b>	-	-

### Adaptação do *Cost Gap Method* (CGM)

Ao utilizar este método, para efetuar a alocação do lucro total, é necessário, no princípio, calcular todas as diferenças de lucro ( $g^l(S) = l(S) - \sum_{j \in S} m_j$ ), nas várias subcoligações, considerando o lucro total conseguido em cada uma delas ( $l(S)$ ), como já foi apresentado na Tabela 4.23. Na Tabela 4.30 é possível verificar as diferenças de lucro obtidas em cada um dos casos colaborativos.

Tabela 4.30 - Lucro não separável obtido nas várias subcoligações

{A,B}		{A,C}		{B,C}		{A}		{B}		{C}	
$m_A$	730105	$m_A$	730105	$m_B$	695166	$m_A$	730105	$m_B$	695166	$m_C$	909467
$m_B$	695166	$m_C$	909467	$m_C$	909467						
$g^l(\{A,B\})$	-206243	$g^l(\{A,C\})$	-206243	$g^l(\{B,C\})$	-206243	$g^l(\{A\})$	-165190	$g^l(\{B\})$	-134563	$g^l(\{C\})$	-180947

Em seguida é calculada a proporção do lucro não separável associado a cada parceiro  $j$  ( $w_j = \max_{S: j \in S} g^l(S)$ ) que resulta então da maximização de  $g^l(S)$ , em que  $j$  participe. Resultando, como apresentado na Tabela 4.31, na mesma proporção obtida com a utilização do método baseado no ACAM. Isto acontece pois as subcoligações que neste método são consideradas a mais do que aquelas que são analisadas com o método ACAM (subcoligações com o número de elementos maior que 1 e menor que N-1), não conseguem uma diferença de lucro superior. Estas subcoligações não acrescentam valor para as entidades envolvidas, ou seja, não são uma opção de coligação com melhores resultados para os participantes.

Tabela 4.31 - Lucro final alocado a cada entidade com base no método CGM

Entidade	Proporção ( $w_j$ )	Lucro separável ( $m_j$ )	Lucro não separável ( $g(N)$ )	Lucro final ( $y_j$ )
Entidade A	-165189,7	730105,4	-206243,3	659230,9
Entidade B	-134562,5	695165,8		637432,0
Entidade C	-180946,8	909466,7		831831,7
<b>Total</b>	<b>-480699,0</b>	<b>2334737,9</b>	<b>-206243,3</b>	<b>2128494,7</b>

Estes valores vão resultar, também, nos mesmos ganhos colaborativos do que os obtidos com o método baseado no ACAM.

Tabela 4.32 - Ganhos colaborativos obtidos com base no método CGM

Entidades	Lucro sem colaboração	Lucro com colaboração	Ganhos colaborativos	Ganhos colaborativos totais
Entidade A	564916	659230,9	16,70%	14,80%
Entidade B	560603	637432,0	13,70%	
Entidade C	728520	831831,7	14,18%	
<b>Total</b>	<b>1854039</b>	<b>2128495</b>	-	-

#### 4.3.4 Resumo

Em síntese, é possível constatar, depois desta análise efetuada aos vários tipos de incentivos colaborativos, que existem metodologias diferentes, cada uma com os seus pontos fortes e fracos.

Quando se trata de escolher qual o método a utilizar, o mais importante é analisar o contexto da colaboração e entre todos os intervenientes da coligação chegar a um entendimento sobre qual consideram ser o método mais adequado. O ideal é escolher o método que aloque o lucro final da forma mais justa, mas isso é muito relativo, até porque o conceito de justiça já é bastante subjetivo. Entre os casos mais extremos, é possível verificar aquele que distribui os benéficos de uma forma mais correta, mas noutras circunstâncias torna-se complicado escolher o melhor método.

Analisando as várias metodologias abordadas e os ganhos colaborativos presentes na Tabela 4.33, pode-se constatar que os métodos proporcionais são os mais simples e práticos de aplicar. Por outro, estes métodos não têm em consideração as contribuições dos vários parceiros, ao longo da colaboração, o que pode resultar numa alocação injusta, especialmente o método "egalitarian".

Tabela 4.33 - Comparação dos ganhos colaborativos obtidos com os vários métodos

Entidades	Ganhos colaborativos com alocação "egalitarian"	Ganhos colaborativos com alocação baseada nos lucros em ambiente não colaborativo	Ganhos colaborativos com alocação baseada no valor de shapley	Ganhos colaborativos com alocação baseada no método ECM	Ganhos colaborativos com alocação baseada no método ACAM	Ganhos colaborativos com alocação baseada no método CGM
Entidade A	25,59%	14,80%	16,63%	17,07%	16,70%	16,70%
Entidade B	26,56%	14,80%	14,03%	11,74%	13,70%	13,70%
Entidade C	-2,61%	14,80%	13,98%	15,40%	14,18%	14,18%

Das restantes quatro alocações, todos eles têm atenção à contribuição de cada entidade na coligação e na manutenção do sucesso da mesma. A alocação mais díspar é a realizada através do método baseado no ECM. Isto acontece devido à divisão por igual do lucro não separável, procedimento bastante diferente dos outros três. É importante voltar a realçar que os ganhos obtidos com os métodos baseados no ACAM e no CGM são iguais, pois o método

CGM é baseado no ACAM e, nesta instância em específico, essas diferenças não têm qualquer impacto nos resultados finais.

Por último, é necessário destacar os ganhos colaborativos obtidos com o método de alocação baseado nos valores de *shapley*, pois trata-se de um dos métodos mais relevantes e mencionados na literatura. Podendo, neste caso, ser considerado como uma alocação exemplar.

Neste caso de estudo base, a maioria destes métodos (excluindo o método “egalitarian”) proporciona a todas as entidades um incentivo/estímulo maior para colaborar, pois sabem que o seu contributo, para uma colaboração eficiente, pode resultar em ganhos bastante consideráveis para si.

## 4.4 Avaliação global dos resultados

As várias análises realizadas para esta instância de teste permitiram quantificar as mais-valias obtidas com um planeamento colaborativo do transporte na CAF.

Conclui-se assim que o balanço é bastante positivo no que diz respeito à diminuição dos custos. É importante realçar que os valores obtidos, com o modelo, estão diretamente relacionados com a instância em estudo, e que portanto as generalizações não deverão ser feitas sem antes aplicar o modelo a outras instâncias.

De forma a perceber qual a dimensão da instância de teste analisada foi calculado e apresentado, na Tabela 4.34 e na Tabela 4.35, respetivamente, o número de variáveis de decisão e de restrições existentes para o caso colaborativo base. A não existência de qualquer restrição (3.18b), (3.19b) e (3.20b) está relacionada com o facto de no caso de estudo base as entidades intervenientes serem todas “comunitárias”, como tal, estas restrições, que são específicas para as entidades “independentes”, não vão ser criadas.

Tabela 4.34 - Variáveis de decisão do modelo no caso de estudo base

Variável	Tipo	Número
$x_{ite}$	Binária	288
$v_{kite}$	Continua	576
$f_{kijte}$	Continua	1728
$f_{in-market}^{kimte}$	Continua	576
$f_{out-market}^{kmjte}$	Continua	288
$n_{ijte}$	Inteira	864
$n_{in-market}^{imte}$	Inteira	288
$n_{out-market}^{mjte}$	Inteira	144
<b>Total</b>	-	<b>4752</b>



Tabela 4.35 - Restrições do modelo no caso de estudo base

Restrição	Número
<b>Restrição (3.8):</b> Garante que as áreas florestais (AF) só podem ser exploradas uma vez	6
<b>Restrição (3.9):</b> Limita a capacidade de exploração	48
<b>Restrição (3.10):</b> Garante que as AF a explorar, são exploradas na sua totalidade	288
<b>Restrição (3.11):</b> Define o nº de viagens entre a(s) AF(s) e o(s) mercado(s)	288
<b>Restrição (3.12):</b> Define o nº de viagens entre o(s) mercado(s) e a(s) fábrica(s)	144
<b>Restrição (3.13):</b> Limita a capacidade de transporte	48
<b>Restrição (3.14a) e (3.14b):</b> Balanceamento do transporte	12
<b>Restrição (3.15a) e (3.15b):</b> Balanceamento das AF a explorar	12
<b>Restrição (3.18a):</b> Garante a satisfação da procura nas fábricas “comunitárias”	72
<b>Restrição (3.19a):</b> Garante que todos os recursos explorados de uma AF “comunitária” são transportados nesse período	144
<b>Restrição (3.20a):</b> Define o nº de viagens, das entidades “comunitárias”, entre a(s) AF(s) e a(s) fábrica(s)	864
<b>Restrição (3.18b):</b> Garante a satisfação da procura nas fábricas “independentes”	0
<b>Restrição (3.19b):</b> Garante que todos os recursos explorados de uma AF “independente” são transportados nesse período	0
<b>Restrição (3.20b):</b> Define o nº de viagens, das entidades “independentes”, entre a(s) AF(s) e a(s) fábrica(s)	0
<b>Total</b>	<b>1926</b>

Com o objetivo de avaliar o desempenho do modelo, foram criadas mais duas instâncias de teste, mais robustas e de maior dimensão, para assim conseguir perceber de que forma aumenta o número de variáveis de decisão do modelo e, também, para perceber qual a sua escalabilidade. Para facilitar a comparação são apresentadas na Tabela 4.36 as novas instâncias criadas, juntamente com a instância base inicial. É importante referir que não existe qualquer tipo de balanceamento em qualquer uma destas instâncias e que apenas são apresentados o número dos elementos dos vários conjuntos pedidos na parametrização do plano, não sendo assim discriminado todos os parâmetros referidos na secção 3.3.1.

Tabela 4.36 - Número de elementos dos conjuntos de cada instância

Conjuntos	Instância base	Instância II	Instância III
<b>Fábricas</b>	3	6	12
<b>Áreas florestais</b>	6	12	26
<b>Mercados</b>	1	1	1
<b>Períodos</b>	12	12	12
<b>Entidades</b>	4	4	8
<b>Tipos de recursos florestais</b>	2	2	4

Comparando o número de variáveis de decisão em cada instância, apresentados na Tabela 4.37, constata-se que este aumenta exponencialmente, com o aumento da dimensão da instância. Se compararmos a instância base com a instância II, verificamos que houve um aumento, para o dobro, apenas do número de fábricas e de áreas florestais, mas este aumento resulta em 3,33 vezes mais variáveis totais, comparativamente com a instância base. Já em relação à instância III, o aumento é ainda mais evidente. Se a isto juntarmos, o aumento de número de restrições bem como todos os parâmetros requeridos pelo modelo, verifica-se que a complexidade torna-se bastante elevada e resulta num aumento, também ele, exponencial do tempo de execução.

Tabela 4.37 - Variáveis de decisão do modelo, em cada instância

Variável	Tipo	Número de variáveis na instância base	Número de variáveis na instância II	Número de variáveis na instância III
$x_{ite}$	Binária	288	624	2496
$v_{kite}$	Continua	576	1248	9984
$f_{kijte}$	Continua	1728	7488	119808
$f_{in-market}^{kimte}$	Continua	576	1248	9984
$f_{out-market}^{kmjte}$	Continua	288	576	4608
$n_{ijte}$	Inteira	864	3744	29952
$n_{in-market}^{imte}$	Inteira	288	624	2496
$n_{out-market}^{mjte}$	Inteira	144	288	1152
<b>Total</b>	-	<b>4752</b>	<b>15840</b>	<b>180480</b>

Nas várias variantes do caso de estudo analisado o modelo cumpre com o esperado, em termos de resultados computacionais, e dá uma excelente resposta no que diz respeito aos resultados obtidos, tendo em conta contexto do projeto.

## Capítulo 5

# Conclusões e desenvolvimentos futuros

### 5.1 Conclusões

A colaboração no planeamento de transporte, no setor florestal, tem suscitado cada vez mais interesse. Este tipo de prática colaborativa tem como principal intuito a redução de custos operacionais, existindo ainda outras vantagens, como a diminuição de tempos de entrega ou aumento da capacidade de utilização dos recursos, que tornam este tipo de colaboração bastante aliciante.

Nesta dissertação, as decisões de colaboração analisadas tiveram como principal foco a redução de custos, por se tratar do potencial benefício mais relevante e significativo que este tipo de planeamento conjunto pode proporcionar. A abordagem proposta nesta dissertação tem como objetivo demonstrar como elaborar e aplicar um planeamento colaborativo de transporte de madeira e, evidenciar os potenciais ganhos para cada um dos parceiros intervenientes.

Na prossecução dos objetivos desta dissertação, procurou-se formalizar uma abordagem direta e simples de aplicar, mas com o principal foco na análise dos ganhos colaborativos em distintos contextos colaborativos, com o intuito de perceber os vários impactos e diferenças nas colaborações desta natureza, para os agentes intervenientes.

O modelo matemático revelou resultados bastante positivos, no que concerne à otimização das operações de exploração e de transporte de recursos florestais, resultando num aumento do lucro final. No que diz respeito à aplicação de incentivos para a colaboração, é de destacar que, na grande maioria dos casos, verificou-se um aumento do lucro de cada entidade interveniente, comparativamente com o contexto não colaborativo (dependendo do incentivo colaborativo utilizado, para alocar o lucro final a cada parceiro).

Ao longo do desenvolvimento deste trabalho, ficou claro que mais importante do que os resultados obtidos no caso de estudo elaborado, é a análise efetuada ao mesmo. Esta análise serviu para realçar de uma forma detalhada, o efeito que o plano otimizado tem nas atividades de exploração e de transporte e, por conseguinte, nos distintos custos, como também as várias

possíveis repercussões para os parceiros da colaboração. Neste sentido, é importante ter sempre presente que os ganhos colaborativos poderão ser maiores ou menores, dependendo da instância e do contexto em questão.

Conclui-se que o modelo proposto demonstra que a coordenação dos fluxos de transporte de madeira, entre os agentes da CAF, pode, de facto, conduzir a uma redução significativa dos custos operacionais.

## 5.2 Trabalho futuro

Embora a abordagem aplicada ao longo desta dissertação cumpra os objetivos propostos e seja suficientemente esclarecedora, em relação aos potenciais ganhos de um planeamento conjunto, existem aspetos que podem aumentar bastante a sua fiabilidade e escalabilidade nas análises que se vierem a submeter a esta proposta de solução, procurando melhores resultados. Os desenvolvimentos futuros podem abordar os seguintes aspetos:

- Integrar no modelo pontos de armazenamento de stock (nas áreas florestais – *roadside*, nas fábricas ou em locais específicos para armazenamento);
- Elaboração de um sistema de apoio à decisão (DSS) que integre a abordagem proposta;
- Aplicar o modelo a outros casos de estudo, de maiores dimensões e instâncias reais.

## Anexo A

### Resultados obtidos no excel

	A	B	C	D	E	F
1	Período	Volume disponível	Volume explorado do tipo 0	Volume explorado do tipo 1	Entidade responsável pela exploração	
2	0	10000	0	0		A
3	1	10000	0	0		A
4	2	10000	0	0		A
5	3	10000	0	0		A
6	4	10000	6800	3200		A
7	5	0	0	0		A
8	6	0	0	0		A
9	7	0	0	0		A
10	8	0	0	0		A
11	9	0	0	0		A
12	10	0	0	0		A
13	11	0	0	0		A
14						
15						
16	0	10000	0	0		B
17	1	10000	0	0		B
18	2	10000	0	0		B
19	3	10000	0	0		B
20	4	10000	0	0		B
21	5	0	0	0		B
22	6	0	0	0		B
23	7	0	0	0		B

Figura A.1 - Spreadsheet resultante do caso de estudo base, com o plano das atividades de exploração na área florestal 0

	A	B	C	D	E	F
1	Período	Quantidade do tipo 0	Procura pelo recurso do tipo 0	Quantidade do tipo 1	Procura pelo recurso do tipo 1	
2	0	500	500	800	800	
3	1	550	550	850	850	
4	2	600	600	900	900	
5	3	600	600	950	950	
6	4	590	590	1000	1000	
7	5	570	570	900	900	
8	6	550	550	850	850	
9	7	500	500	800	800	
10	8	530	530	750	750	
11	9	500	500	780	780	
12	10	460	460	800	800	
13	11	400	400	790	790	
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						

Figura A.2 - Spreadsheet resultante do caso de estudo base, com a quantidade de recursos florestais totais recebidos na fábrica 0

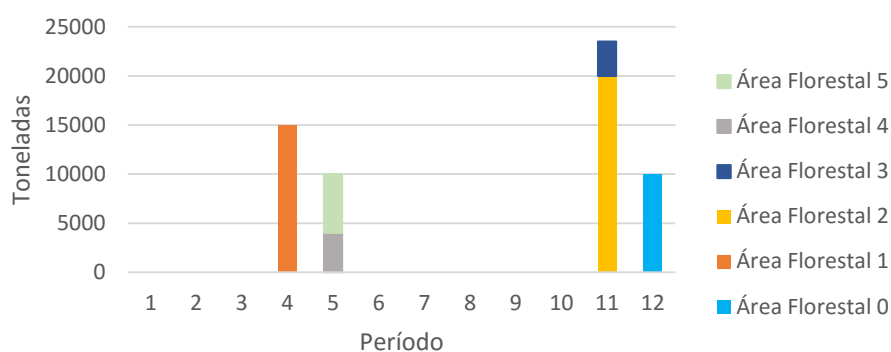
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Periodo	Quantidade do tipo 0	Quantidade do tipo 1	Nº de viagens	Entidade responsável pelo transporte	Procura pelo recurso do tipo 0	Procura pelo recurso do tipo 1	
2	0	0	0	0	A	500	800	
3	1	0	0	0	A	550	850	
4	2	0	0	0	A	600	900	
5	3	0	0	0	A	600	950	
6	4	0	0	0	A	590	1000	
7	5	0	0	0	A	570	900	
8	6	0	0	0	A	550	850	
9	7	0	0	0	A	500	800	
10	8	0	0	0	A	530	750	
11	9	0	0	0	A	500	780	
12	10	0	0	0	A	460	800	
13	11	0	0	0	A	400	790	
14								
15								
16	0	500	800	52	B	500	800	
17	1	550	850	56	B	550	850	
18	2	600	900	60	B	600	900	
19	3	0	0	0	B	600	950	
20	4	0	0	0	B	590	1000	
21	5	570	900	59	B	570	900	
22	6	0	0	0	B	550	850	
23	7	500	800	52	B	500	800	
24	8	530	750	52	B	530	750	
25	9	0	0	0	B	500	780	
26	10	0	0	0	B	460	800	

< > ... | Fábrica 1 recebido das AF's | Fábrica 2 recebido das AF's | **Fábrica 0 recebido do mercado** | Fábrica 1 recebido do mercado | Fábrica 2 rece

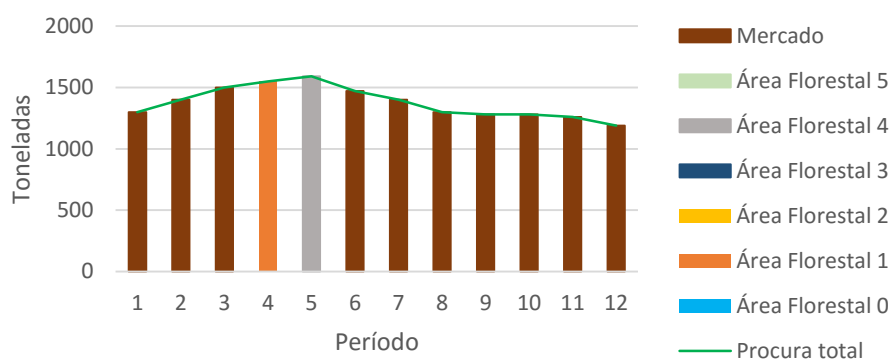
**Figura A.3 - Spreadsheet resultante do caso de estudo base, com as viagens de transporte para a fábrica 0**

## Anexo B

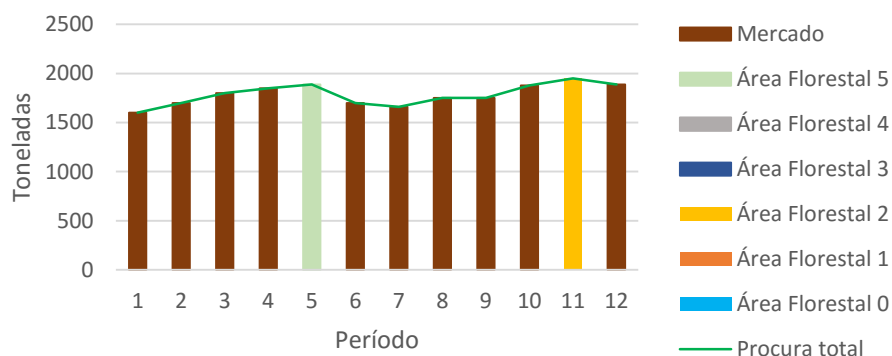
### Análise de resultados



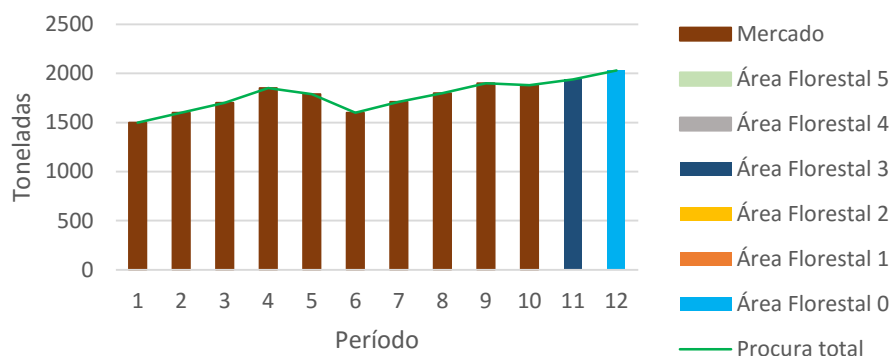
**Figura B.1 - Quantidade de recursos florestais explorados pela entidade A em cada área florestal, em ambiente colaborativo sem partilha dos mesmos entre as entidades**



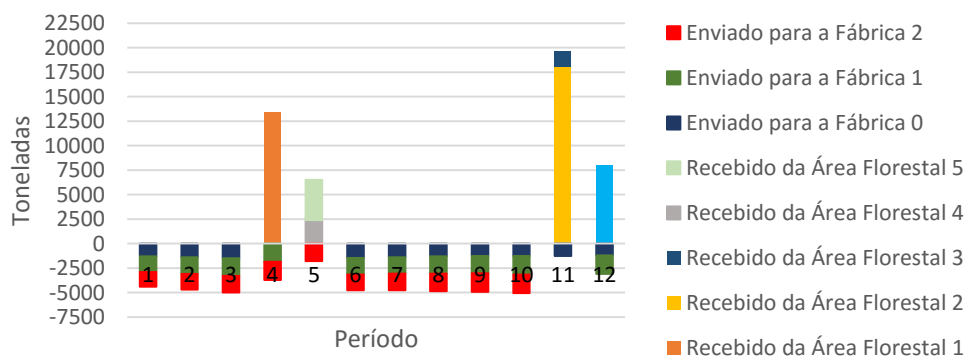
**Figura B.2 - Quantidade de recursos florestais recebidos na fábrica 0, em ambiente colaborativo, sem partilha dos mesmos entre as entidades**



**Figura B.3 - Quantidade de recursos florestais recebidos na fábrica 1, em ambiente colaborativo, sem partilha dos mesmos entre as entidades**



**Figura B.4 - Quantidade de recursos florestais recebidos na fábrica 2, em ambiente colaborativo, sem partilha dos mesmos entre as entidades**



**Figura B.5 - Quantidade de recursos florestais recebidos e enviados pelo mercado, em ambiente colaborativo, sem partilha dos mesmos entre as entidades**



## Referências

- [1] J.-F. Audy, R. Epstein, A. Marques, M. Rönnqvist, and A. Weintraub, "Chapter 9. Transportation and routing," *The management of Industrial Plantations. Theoretical foundations and applications*, 2014.
- [2] M. Ronnqvist, "Optimization in Forestry," *Springer-Verlag*, 2003.
- [3] J.-F. Audy, S. D'Amours, L.-M. Rousseau, and J. Favreau, "Virtual Transportation Manager: A decision support system for collaborative Forest Transportation," *CIRRELT Research Paper*, 2013.
- [4] S. D'Amours, M. Rönnqvist, and A. Weintraub, "Using Operational Research for Supply Chain Planning in the Forest Products Industry," *Information Systems and Operational Research*, 2008.
- [5] M. AF., M. Rönnqvist, S. D'Amours, A. Weintraub, J. Gonçalves, J. G. Borges, *et al.*, "Solving the raw materials reception problem using revenue management principles: an application to a portuguese pulp," *CIRRELT Research Paper*, 2012.
- [6] B. Olmo, A. Marques, J. P. d. Sousa, J.-F. Audy, and P. Rocha, "A comprehensive framework for engineering inter-firm collaboration – a study in the forest-based supply chain," *Journal of Science & Technology for Forest Products and Processes*, 2016.
- [7] (2003-2016). *Dicionário da Língua Portuguesa com Acordo Ortográfico*. Porto: Porto Editora. Available: <http://www.infopedia.pt/dicionarios/lingua-portuguesa-aao/colaboração>
- [8] J.-F. Audy, N. Lehoux, S. D'Amours, and M. Rönnqvist, "A framework for an efficient implementation of logistics collaborations," *International Transactions in Operational Research*, vol. 19, pp. 633-657, 2012.
- [9] S. Lozano, P. Moreno, B. Adenso-Díaz, and E. Algaba, "Cooperative game theory approach to allocating benefits of horizontal cooperation," *European Journal of Operational Research*, 2013.
- [10] S. H. Park and G. R. Ungson, "Inter-firm rivalry and managerial complexity: a conceptual framework of alliance failure," *Organization Science*, vol. 12, 2001.

- [11] S. E. Fawcett, G. M. Magnan, and M. W. McCarter, "Benefits, barriers, and bridges to effective supply chain management," *Supply Chain Management: An International Journal*, vol. 13 2008.
- [12] S. H. D. Tijs, T.S.H., "Game theory and cost allocation problems," *Management Science*, 1986.
- [13] M. Frisk, M. Gothe-Lundgren, K. Jornstent, and M. Ronnqvist, "Cost allocation in collaborative forest transportation," *European Journal of Operational Research*, 2010.
- [14] N. Lehoux, S. D'Amours, and A. Langevin, "Inter-firm collaborations and supply chain coordination: review of key elements and case study," *Production Planning and Control: The Management of Operations*, 2014.